

TUGAS AKHIR - TE 141599

ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20KV DI PT. PLN  
(PERSERO) AREA TANJUNG KARANG MENGGUNAKAN  
METODE FMEA

Tosa Anhar Husada  
NRP 2214105007

Dosen Pembimbing  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Dr. Eng I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc

DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**TUGAS AKHIR - TE 141599**

**ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20KV DI PT. PLN  
(PERSERO) AREA TANJUNG KARANG MENGGUNAKAN  
METODE FMEA**

Tosa Anhar Husada  
NRP 2214105007

Dosen Pembimbing  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Dr. Eng I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



**FINAL PROJECT - TE 141599**

**RELIABILITY ANALYSIS OF 20KV DISTRIBUTION SYSTEM IN  
PT. PLN (PERSERO) AREA TANJUNG KARANG USING FMEA  
METHOD**

Tosa Anhar Husada  
NRP 2214105007

Advisor  
Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Dr. Eng I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT  
Faculty Of Electrical Technology  
Sepuluh Nopember Institute Of Technology  
Surabaya 2017

## PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi sebagian maupun keseluruhan Tugas Akhir saya dengan judul **“Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20kV di PT. PLN (Persero) Area Tanjung Karang Menggunakan Metode FMEA”** adalah benar – benar hasil karya intelektual mandiri diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka.

Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, Mei 2017



Tosa Anhar Husada  
NRP. 2214105007



**ANALISA KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20KV DI PT.  
PLN (PERSERO) AREA TANJUNG KARANG MENGGUNAKAN  
METODE FMEA**


**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga  
Departemen Teknik Elektro  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

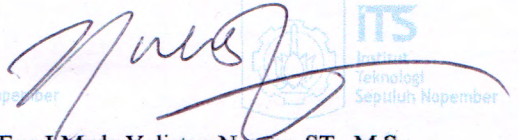
**Menyetujui :**

**Dosen Pembimbing I**



**Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.**  
**NIP. 197411292000121001**

**Dosen Pembimbing II**



**Dr. Eng I Made Yulistva Negara, ST., M.Sc**  
**NIP. 197007121998021001**



# **Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20kV di PT. PLN (Persero) Area Tanjung Karang Menggunakan Metode FMEA (*Failure Modes and Effects Analysis*)**

Nama Mahasiswa : Tosa Anhar Husada  
Dosen Pembimbing I : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
Dosen Pembimbing II : Dr. Eng I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc

## **ABSTRAK**

Tugas Akhir ini bertujuan untuk menghitung nilai indeks keandalan dari sistem distribusi tegangan menengah 20kV pada PLN Area Tanjung Karang Bandar Lampung dengan menggunakan metode *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) dengan memperhitungkan laju kegagalan, *repair time* dan *switching time* dari setiap komponen dalam jaringan distribusi untuk mendapatkan indeks keandalan pada sistem tersebut. Serta dilakukannya studi untuk memperbaiki nilai indeks keandalan dengan penambahan komponen *sectionalizer* dan *fuse* pada jaringan.

Berdasarkan hasil yang diperoleh dari analisis pada penyulang kabut didapatkan nilai indeks keandalan SAIFI sebesar 3.3364 dan nilai indeks keandalan SAIDI sebesar 7.884149 lalu setelah dilakukan upaya peningkatan keandalan dengan penambahan sectionalizer dan fuse maka didapat hasil perbaikan untuk nilai indeks keandalan SAIFI sebesar 3.001356 dan nilai indeks keandalan SAIDI sebesar 4.848395.

**Kata Kunci** : Keandalan, Sistem Distribusi, SAIDI, SAIFI, FMEA

Halaman ini sengaja dikosongkan

***Reliability Analysis of 20kV Distribution System in PT.  
PLN (Persero) Area Tanjung Karang Using FMEA  
(Failure Modes and Effects Analysis) Method***

*Name* : Tosa Anhar Husada  
*Advisor I* : Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT.  
*Advisor II* : Dr. Eng I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc

***ABSTRACT***

*This Final Project purpose is count the reliability indices value of distribution system 20kV medium voltage in Tanjung Karang Area Bandar Lampung of PLN by using Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) method, by count the failure rate, rapair time and switching time from each component in distribution network to get reliability indices in the system. And study to improve the reliability indices value by adding sectionalizer and fuse components at the network.*

*According to the analysis result from kabut feeder, value of SAIFI reliabilty indices is 3.3364 and valuse of SAIDI reliability indices is 7.884149, then after improve the reliability indices value by added sectionalizer and fuse components the result of SAIFI reliability indices value become 3.001356 and the SAIDI reliability indices become 4.848395.*

***Keywords*** : Reliability, Distribution System, SAIDI, SAIFI, FMEA

Halaman ini sengaja dikosongkan

## KATA PENGANTAR

Dengan mengucapkan puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT, serta shalawat dan salam senantiasa terlimpahkan kepada junjungan kita Nabi besar Nabi Muhammad SAW, karena atas ridho dan hidayahNya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul :

**“Analisa Keandalan Sistem Distribusi 20kV di PT. PLN (Persero) Rayon Tanjung Karang dengan Menggunakan Metode FMEA”**

Tugas akhir ini diajukan guna memenuhi persyaratan untuk menyelesaikan jenjang pendidikan S1 Teknik Elektro ITS. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang banyak berjasa terutama dalam penyusunan Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Segenap keluarga besar terutama bapak Sofyan, ibu Arina dan adik – adik saya yang selalu memberikan dukungan, semangat dan doa untuk keberhasilan penulis.
2. Bapak Dr. Rony Seto Wibowo, ST., MT. dan Bapak Dr. Eng I Made Yulistya Negara, ST., M.Sc selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan saran serta bimbingannya.
3. Seluruh rekan dan teman – teman LJ Ganjil 2014 terutama prodi Teknik Sistem Tenaga atas kerjasamanya selama 3 tahun ini Penghuni Ketisno Keputih Perintis V.
4. Seluruh staf pengajar dan karyawan S1 Teknik Elektro - ITS, atas sarana dan prasarana yang diberikan.
5. Dan semua pihak-pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu. Semoga Allah SWT memberikan limpahan rahmat dan hidayahnya atas segala kebaikan. Semoga Allah SWT memberikan limpahan rahmat dan hidayahnya.

Besar harapan penulis agar Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan masukan bagi banyak pihak. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik, koreksi, dan saran dari pembaca yang bersifat membangun untuk pengembangan ke arah yang lebih baik.

Surabaya, Mei 2017

Penulis

Halaman ini sengaja dikosongkan

# DAFTAR ISI

## JUDUL

## LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

## LEMBAR PENGESAHAN

## KATA PENGANTAR..... i

## ABSTRAK ..... iii

## ABSTRACT ..... v

## DAFTAR ISI ..... vii

## DAFTAR GAMBAR ..... ix

## DAFTAR TABEL ..... xi

## BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Permasalahan.....	1
1.3. Tujuan.....	2
1.4. Batasan Masalah.....	2
1.5. Metodologi Penelitian.....	2
1.6. Sistematika Penulisan .....	3
1.7. Relevansi dan Manfaat.....	3

## BAB II SISTEM JARINGAN DISTRIBUSI 20kV

2.1. Sistem Tenaga Listrik .....	5
2.2. Gardu Induk .....	7
2.2.1 Peralatan Gardu Induk.....	7
2.3. Jaringan Sistem Distribusi Primer.....	9
2.3.1 Jaringan Distribusi Radial.....	10
2.4. Jenis Gangguan .....	14
2.4.1 Pengaruh Gangguan Terhadap Sistem Distribusi .....	16

## BAB III KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20kV RAYON TANJUNG KARANG

3.1. Keandalan Sistem Distribusi .....	17
3.2. Definisi Dasar dalam Keandalan Sistem Distribusi .....	22
3.3. Standar Keandalan Sistem Kelistrikan Jaringan Distribusi 20kV .....	23
3.4. Metode <i>Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)</i> .....	24
3.5. Indeks Keandalan .....	25
3.6. Contoh Evaluasi Dasar Menggunakan Metode FMEA.....	28
3.7. Peningkatan Keandalan Sistem Distribusi.....	32



## **BAB IV EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20KV RAYON TANJUNG KARANG**

4.1. Sistem Distribusi GI Teluk Betung .....	36
4.1.1 Data Penyulang Kabut .....	36
4.2. Perhitungan Indeks Keandalan dengan Metode FMEA pada Ms. Excel .....	39
4.3. Simulasi Keandalan dengan Software ETAP.....	44
4.4. Evaluasi Hasil Simulasi dengan Menggunakan ETAP dan Ms. Excel .....	45
4.5. Evaluasi Hasil Simulasi dengan Menggunakan ETAP dan Ms. Excel untuk Semua Penyulang.....	47
4.6. Upaya Perbaikan Nilai Indeks Keandalan Sistem Distribusi .....	56
4.6.1 Upaya Dalam Mengurangi Jumlah Gangguan .....	56
4.6.2 Rekonfigurasi Jaringan .....	57
4.6.3 Upaya Peningkatan Keandalan Penyulang Kabut.....	58

## **BAB V PENUTUP**

5.1. Kesimpulan.....	61
5.2. Saran .....	62

<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	63
-----------------------------	----

<b>BIODATA PENULIS</b> .....	65
------------------------------	----

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema Sistem Tenaga Listrik.....	5
Gambar 2.2	Penyaluran Tenaga Listrik dari JTM hingga Konsumen.....	6
Gambar 2.3	Jaringan radial tipe pohon .....	11
Gambar 2.4	Jaringan radial dengan <i>tie</i> dan <i>switch</i> .....	12
Gambar 2.5	Jaringan radial dengan tipe pusat beban.....	13
Gambar 2.6	Jaringan radial dengan phase area .....	14
Gambar 3.1	<i>Single Line Diagram</i> GI Teluk Betung .....	21
Gambar 3.2	Skema input dan output FMEA .....	25
Gambar 3.3	Topologi Jaringan Dasar .....	28
Gambar 4.1	Perbandingan Perhitungan dengan FMEA dan Data PLN Penyulang Kabut .....	44
Gambar 4.2	Perbandingan hasil perhitungan Excel dan Etap dalam Grafik Penyulang Kabut.....	46
Gambar 4.3	Perbandingan Perhitungan dengan FMEA dan Data PLN Penyulang Lesus.....	48
Gambar 4.4	Perbandingan hasil perhitungan FMEA dan Etap dalam Grafik Penyulang Lesus.....	49
Gambar 4.5	Perbandingan Perhitungan dengan FMEA dan Data PLN Penyulang Awan .....	50
Gambar 4.6	Perbandingan hasil perhitungan FMEA dan Etap dalam Grafik Penyulang Awan.....	51
Gambar 4.7	Perbandingan Perhitungan dengan FMEA dan Data PLN Penyulang Pelangi .....	52
Gambar 4.8	Perbandingan hasil perhitungan FMEA dan Etap dalam Grafik Penyulang Pelangi .....	53
Gambar 4.9	Perbandingan Perhitungan dengan FMEA dan Data PLN Penyulang Mega.....	54
Gambar 4.10	Perbandingan hasil perhitungan FMEA dan Etap dalam Grafik Penyulang Mega.....	55
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan Indeks Sebelum dan Setelah Perbaikan .....	59

Halaman ini sengaja dikosongkan

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Daftar Penyulang GI Teluk Betung.....	20
Tabel 3.2	Nilai Laju Kegagalan dan Repair Time.....	24
Tabel 3.3	Data Saluran.....	28
Tabel 3.4	Evaluasi Keandalan Metode FMEA.....	29
Tabel 4.1	Data Trafo dan Jumlah Pelanggan Penyulang Kabut .....	36
Tabel 4.2	Data Panjang Saluran Penyulang Kabut.....	38
Tabel 4.3	Standar Laju Kegagalan (SPLN59 1985).....	39
Tabel 4.4	Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Kabut .....	40
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Kabut ...	43
Tabel 4.6	Perbandingan FMEA dengan Data PLN Penyulang Kabut	43
Tabel 4.7	Hasil Run Etap.....	45
Tabel 4.8	Perbandingan antara hasil perhitungan Excel dan Etap Penyulang Kabut.....	45
Tabel 4.9	Perbandingan FMEA dengan Data PLN Penyulang Lesus .....	47
Tabel 4.10	Perbandingan Antara Hasil Perhitungan Excel dan Etap Penyulang Lesus.....	48
Tabel 4.11	Perbandingan FMEA dengan Data PLN Penyulang Awan	49
Tabel 4.12	Perbandingan antara hasil perhitungan Excel dan Etap Penyulang Awan.....	50
Tabel 4.13	Perbandingan FMEA dengan Data PLN Penyulang Pelangi .....	51
Tabel 4.14	Perbandingan antara hasil perhitungan Excel dan Etap Penyulang Pelangi.....	52
Tabel 4.15	Perbandingan FMEA dengan Data PLN Penyulang Mega	53
Tabel 4.16	Perbandingan antara hasil perhitungan Excel dan Etap Penyulang Mega .....	54
Tabel 4.17	Data Penyulang.....	55
Tabel 4.18	Perbandingan Indeks Keandalan Sebelum dan Setelah Perbaikan.....	59

Halaman ini sengaja dikosongkan

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Pemerintah melalui PT. PLN(Persero) selalu berusaha untuk meningkatkan mutu, keandalan serta kontinuitas energi listrik dalam penyalurannya untuk memenuhi kebutuhan listrik. Salah satu cara untuk meningkatkan keandalan serta kontinuitas pelayanan daya listrik terhadap pelanggan yaitu dengan mengevaluasi sistem distribusi tegangan menengah 20kV agar dapat mengantisipasi permasalahan – permasalahan yang ada.

Keandalan suatu jaringan distribusi dari suatu penyulang dapat digambarkan melalui besaran dari indeks – indeks keandalan yang akan dibandingkan dengan indeks acuan yang digunakan di Indonesia yaitu berdasarkan pada Standar PLN untuk mengetahui tingkat keandalan dari jaringan distribusi tersebut. Indeks – indeks keandalan yang biasa digunakan pada sistem distribusi yaitu *System Average Interruption Duration Index* (SAIDI) merupakan indeks keandalan berdasarkan durasi atau lamanya pemadaman, *System Average Interruption Frequency Index* (SAIFI) merupakan indeks keandalan berdasarkan seringnya atau jumlah terjadinya pemadaman, *Customer Average Interruption Duration Index* (CAIDI) merupakan indeks perbandingan antara SAIDI dengan SAIFI, dan *Average Service Availability Index* (ASAI) merupakan indeks keandalan kemampuan sistem dalam menjaga ketersediaan energi listrik.

Metode *Failure Modes and Effects Analysis* adalah salah satu cara untuk mengetahui indeks keandalan dimana *Failure mode* dapat didefinisikan sebagai suatu peristiwa yang dapat menyebabkan kegagalan fungsi pada suatu proses atau sistem dan *Effects Analysis* merupakan studi yang mendeskripsikan mengenai konsekuensi yang didapatkan ketika *failure modes* terjadi.

### **1.2 Permasalahan**

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah :

1. Bagaimana menghitung indeks keandalan (SAIDI, SAIFI, dan CAIDI) dari laju kegagalan, waktu perbaikan rata – rata, waktu *switching* dan jumlah konsumen dalam setiap *load point*.

2. Bagaimana menentukan lokasi yang memerlukan perbaikan untuk peningkatan keandalan.
3. Bagaimana cara untuk meningkatkan keandalan.

### 1.3 Tujuan

Tujuan yang diharapkan dari pembuatan tugas akhir ini adalah :

1. Mengidentifikasi mode kegagalan.
2. Menghitung indeks keandalan
3. Mengevaluasi tindakan perbaikan atau pencegahan terhadap *failure modes*.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Sistem distribusi menengah menengah 20kV.
2. SPLN (Standar PLN) sebagai acuan untuk standar indeks keandalan.
3. Maintenance analysis, cost analysis dan management analysis tidak dianalisis.

### 1.5 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah :

1. Studi literature  
Meliputi studi mengenai keandalan sistem dan petunduk matematis dalam keandalan sistem tenaga listrik dengan metode yang digunakan adalah FMEA
2. Pengumpulan data  
Meliputi pengumpulan struktur sistem dari jaringan distribusi 20kV, data nilai dari laju kegagalan, data waktu perbaikan rata – rata, mode kegagalan, potensi efek kegagalan dari peralatan listrik jaringan distribusi 20kV.
3. Pengolahan dan analisis data  
Perhitungan indeks kegagalan dari setiap load point pada sistem distribusi berdasarkan data laju kegagalan dan data waktu perbaikan pada setiap *section* sepanjang jaringan distribusi dengan membuat perancangan desain menggunakan software ETAP dan perhitungan manual dengan MS. EXCEL. Dengan menggunakan metode ini akan didapatkan nilai-nilai indeks keandalan pada setiap bagian maka lokasi – lokasi pada jaringan yang memerlukan perbaikan keandalan dapat diketahui dengan melakukan pemeliharaan jaringan atau otomatisasi pada sistem.

4. Perbaikan Indeks Keandalan  
Ketika masih ada nilai indeks keandalan yang nilainya dibawah standar PLN maka dilakukan perbaikan untuk meningkatkan nilai indeks keandalan dengan menambahkan peralatan listrik seperti *fuse* dan saklar/ *switch* hingga didapatkan indeks keandalan yang lebih baik.
5. Pembuatan Laporan dan Kesimpulan Tugas Akhir  
Dari hasil analisis maka akan didapatkan kesimpulan dan dapat dilakukan penulisan laporan hasil dari tugas akhir.

## **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika pembahasan Tugas Akhir ini terdiri dari lima bab, yaitu :

1. BAB 1 : Pendahuluan  
Membahas tentang latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, metodologi, sistematika laporan, serta relevansi dari penulisan.
2. BAB 2 : Landasan Teori  
Pada bab ini diuraikan teori – teori yang digunakan dalam pembuatan penelitian, diantaranya yaitu teori pembahasan mengenai Sistem Tenaga Listrik, Gardu Induk, Sistem Distribusi, Peralatan Sistem Distribusi, Serta gangguan pada sistem distribusi.
3. BAB 3 : Keandalan Sistem Distribusi 20kV Rayon Tanjung Karang  
Bab ini membahas tentang keandalan system distribusi 20kV pada Rayon Tanjung Karang dengan data-data penunjang yang ada untuk dilakukan analisis dengan menggunakan metode FMEA sehingga didapatkan nilai indeks keandalannya.
4. BAB 4 : Analisis Data  
Bab ini berisi pembahasan tentang analisis keandalan sistem distribusi dengan metode FMEA yang kemudian dilakukan langkah perbaikan untuk meningkatkan indeks keandalan.
5. BAB 5 : Penutup  
Bab ini berisi kesimpulan dan saran dari hasil analisis mengenai sistem keandalan distribusi.

## **1.7 Relevansi dan Manfaat**

Hasil yang diperoleh dari tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut :



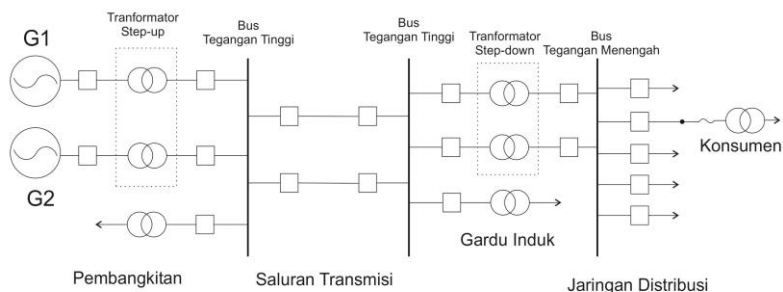
1. Bagi perusahaan listrik  
Tugas akhir ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi perusahaan listrik dalam mengetahui indeks keandalan sistem juga upaya perbaikannya.
2. Bagi bidang ilmu pengetahuan dan mahasiswa lain  
Tugas akhir ini diharapkan dapat membantu memahami sistem distribusi juga upaya untuk meningkatkan keandalannya.

## BAB II

Pada bab ini diuraikan teori – teori yang digunakan dalam pembuatan tugas akhir.

## 2.1 Sistem Tenaga Listrik

Kebutuhan manusia akan tenaga listrik semakin meningkat saat ini sehingga manusia tidak dapat dipisahkan dengan tenaga listrik dalam kehidupan sehari-harinya. Sistem pembangkit tenaga listrik atau pusat – pusat listrik yang letaknya jauh dari pengguna listrik sehingga membutuhkan kawat – kawat atau saluran transmisi, gardu-gardu induk dan peralatan – peralatan listrik yang saling berhubungan dan membentuk suatu sistem tenaga listrik untuk dapat menyalurkan tenaga listrik dari pembangkit hingga ke pusat beban atau konsumen.



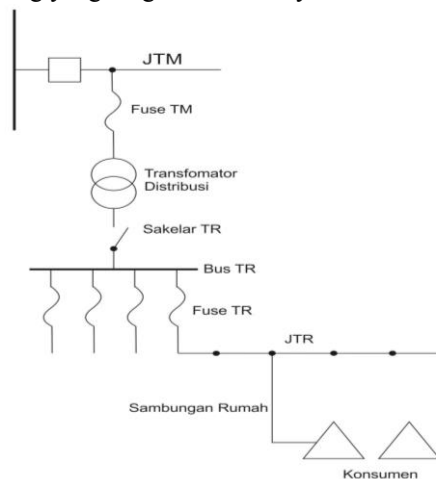
### Gambar 2.1 Skema Sistem Tenaga Listrik

Sistem tenaga listrik dimulai dari pusat – pusat listrik yang membangkitkan tenaga listrik antara lain yaitu seperti PLTU, PLTA, PLTG dan pembangkit – pembangkit jenis lainnya yang kemudian dinaikan tegangannya ditransmisikan dengan menggunakan transformator daya (step-up) untuk ditransmisikan ke berbagai daerah yang jaraknya sangat jauh, sehingga tidak banyak daya yang hilang pada saluran.

Saluran transmisi tegangan tinggi di Indonesia memiliki nominal tegangan antara lain 70kV, 150kV dan 500kV, untuk tegangan 500kV biasa disebut dengan tegangan ekstra tinggi. Saluran transmisi akan berujung pada gardu induk atau GI, dimana pada GI tegangan tinggi dari saluran transmisi akan diturunkan menjadi tegangan menengah untuk

distribusi primer dengan menggunakan tranformator daya (step-down). Setelah itu maka tenaga listrik akan didistribusikan ke daerah melalui jaringan tegangan menengah (JTM) 20kV kemudian disalurkan pada konsumen-konsumen pada melalui jaringan tegangan rendah (JTR) yang berasal dari gardu – gardu distribusi yang menurunkan tegangan menengah ke tegangan rendah 380/220V.

Untuk beberapa pelanggan yang membutuhkan daya listrik yang besar tidak dapat terhubung dengan jaringan tegangan rendah maka dapat terhubung langsung dengan jaringan tegangan menengah bahkan ada juga yang terhubung langsung dengan saluran transmisi tegangan tinggi, hal tersebut bergantung dari besarnya daya listrik yang dibutuhkan. Dikarenakan daerah pendistribusian yang sangat luas dan membutuhkan banyak transformator distribusi maka untuk gardu – gardu distribusi. Gardu Distribusi seringkali disederhanakan menjadi transformator tiang yang rangkaian listriknya lebih sederhana.



**Gambar 2.2** Penyaluran Tenaga Listrik dari JTM hingga Konsumen

Untuk penyederhanaan jaringan sistem tenaga listrik maka dibuat pengelompokan setiap daerahnya sebagai berikut :

- Daerah I : Bagian pembangkitan (*Generation*)
- Daerah II : Bagian penyaluran (*Transmission*), tegangan tinggi
- Daerah III : Bagian distribusi primer, tegangan menengah 20kV
- Daerah IV : Bagian tegangan rendah (Sambungan Rumah)

## 2.2 Gardu Induk (GI)

Gardu induk atau biasa disebut GI berfungsi untuk mentransformasikan tegangan tinggi dari saluran transmisi ke tegangan menengah untuk saluran distribusi dan sebagai pengaman sistem tenaga listrik serta sebagai tempat pengaturan daya sistem distribusi melalui *feeder* atau penyulang. Gardu induk diklasifikasikan berdasarkan jenis pemasangan sesuai dengan konstruksinya yaitu :

a. GI pasangan luar (*Outdoor*)

GI *outdoor* terdiri dari peralatan tegangan tinggi pasang luar seperti transformator utama, peralatan penghubung (*Switchgear*) dan lain sebagainya, mempunyai peralatan kontrol yang ditempatkan di dalam gedung seperti meja penghubung (*switch-board*) dan sumber DC/ baterai. GI untuk transmisi yang memiliki kondensator sinkron didalam gedung pada sisi tersier trafo utama dan trafo yang ditempatkan di dalam, pada umumnya juga disebut sebagai jenis pasangan luar.

b. GI pasangan dalam (*Indoor*)

GI indoor ini baik peralatan tegangan tinggi seperti trafo utama dan peralatan penghubung dan sebagainya seperti peralatan kontrol, meja penghubung dan lainnya terpasang di dalam gedung atau di tempat tertutup. Meskipun sejumlah kecil peralatan yang terpasang di luar GI, ini juga disebut sebagai GI pasangan dalam.

c. GI setengah pasangan luar (*Semi outdoor substation*)

Pada GI jenis ini sebagian dari peralatan tegangan tingginya terpasang dalam gedung. GI ini disebut juga GI setengah pasangan dalam. Untuk GI jenis ini digunakan untuk berbagai macam alasan dengan pertimbangan – pertimbangan ekonomis, pencegahan kontaminasi garam, pencegahan gangguan suara, pencegahan kebakaran dan lain sebagainya.

d. GI pasangan bawah tanah

Pada GI jenis ini hampir semua peralatan dipasang pada gadung atau bangunan bawah tanah, dan alat pendinginnya terpasang di atas tanah dan terkadang kontrolnya juga berada di atas tanah.

### 2.2.1 Peralatan Gardu Induk

Gardu induk dilengkapi dengan peralatan – peralatan listrik yang diperlukan sesuai dengan tujuannya. Secara umum peralatan – peralatan listrik yang dimiliki oleh sebuah Gardu Induk antara lain sebagai berikut :

- Transformator Daya  
Transformator daya memiliki peranan yang sangat penting dalam sistem tenaga yaitu untuk menyalurkan dari sistem transmisi tegangan tinggi ke tegangan menengah pada jaringan distribusi ataupun dari pembangkit ke saluran transmisi tegangan tinggi.
- Peralatan Penghubung  
Saluran transmisi dan distribusi dihubungkan dengan GI. Jadi GI ini merupakan tempat pemusatan dari tenaga yang dibangkitkan dan interkoneksi dari sistem transmisi dan distribusi dengan pelanggan/ konsumen. Saluran transmisi dan distribusi dihubungkan dengan *rail* atau bus melalui transformator daya dimana setiap saluran memiliki pemutus beban (*Circuit Breaker*) dan pemisah (*Disconnect Switch*) pada sisi keluaranya. Pemutus beban ini digunakan untuk menghubungkan atau memutuskan rangkaian dalam keadaan berbeban ataupun tidak. Jika terjadi gangguan pada saluran transmisi atau alat lain, maka pemutus beban digunakan untuk memutuskan hubungan secara otomatis. Jika saluran transmisi dan distribusi, transformator, pemutus beban dan sebagainya dalam perbaikan atau pemeriksaan, maka pemisah digunakan untuk memisahkan saluran dan peralatan listrik dimana pemisah bekerja dalam keadaan tidak berbeban. Pemutus beban dan pemisah dinamakan peralatan penghubung atau *switchgear*.
- Panel Hubung dan Trafo Ukur  
Panel hubung (meja hubung atau *switch board*) merupakan bagian dari GI yang digunakan oleh operator dalam mengamati keadaan peralatan, melakukan operasi peralatan serta pengukuran – pengukuran tegangan, arus, daya dan lain sebagainya. Ketika terjadi gangguan, maka panel hubung akan membuka pemutus beban secara otomatis melalui rele pengaman dan memisahkan bagian yang terganggu. Tegangan dan arus tidak bisa diukur langsung pada tegangan yang tinggi maka digunakan transformator ukur (*instrument*) yang mengubah nilai tegangan dan arus yang rendah, sekaligus memisahkan alat – alat ukur dari sisi tegangan tinggi. Terdapat tiga jenis transformator ukur : Transformator tegangan (PT), transformator arus (CT) dan Transformator tegangan dan arus.

- Alat Pelindung

Alat pelindung atau *protective device* selain pemutus beban (CB) dan rele pengaman adalah sebagai berikut :

Arrester mengamankan GI terhadap tegangan lebih abnormal akibat surja seperti petir dan surja hubung (*switching surge*).

Beberapa peralatan netral sering dipakai di titik netral transformator untuk pengaman pada waktu terjadinya gangguan tanah. Tahanan pembumian netral digunakan untuk menekan tegangan lebih abnormal. Kumparan pemadam busur api (kumparan petersen) digunakan untuk menghilangkan atau memadamkan busur api tanah secara otomatis, atau reaktor pembumian netral dipasang untuk kompensasi arus kapasitif urutan fasa nol.

Bila terjadi gangguan hubung singkat tanah ataupun gangguan petir, potensial tanah dari GI mungkin naik abnormal sehingga membahayakan orang maupun binatang yang ada disekitar, atau dapat menyebabkan kerusakan pada alat. Untuk menghindari hal ini maka ditanam penghantar pengetanahan dengan tahanan tanah sekecil mungkin, semua peralatan dan bangunan luar dihibingkan dengan peralatan pembumian.

Di dalam GI dipasang *shield device* berupa kawat tanah atas (*over ground wire*) guna melindungi peralatan GI terhadap sambaran petir langsung.

## 2.3 Jaringan Sistem Distribusi Primer

Sistem distribusi primer digunakan untuk menyalurkan tenaga listrik dari Gardu Induk ke pusat – pusat beban atau konsumen. Sistem ini dapat menggunakan saluran udara maupun kabel tanah sesuai dengan tingkat keandalan yang diinginkan dan kondisi serta situasi pada lingkungan. saluran distribusi ini direntangkan sepanjang daerah yang akan disuplai tenaga listrik untuk mencapai pusat beban.

Terdapat beberapa macam bentuk rangkaian jaringan untuk distribusi primer mulai dari radial hingga spindle. Pertimbangan utama yang mempengaruhi jenis jaringan sistem distribusi antara lain adalah biaya dan keandalan. Untuk PLN dalam distribusi primernya menggunakan level tegangan 20kV dan untuk distribusi sekundernya menggunakan level tegangan 380/220V.

### 2.3.1 Jaringan Distribusi Radial

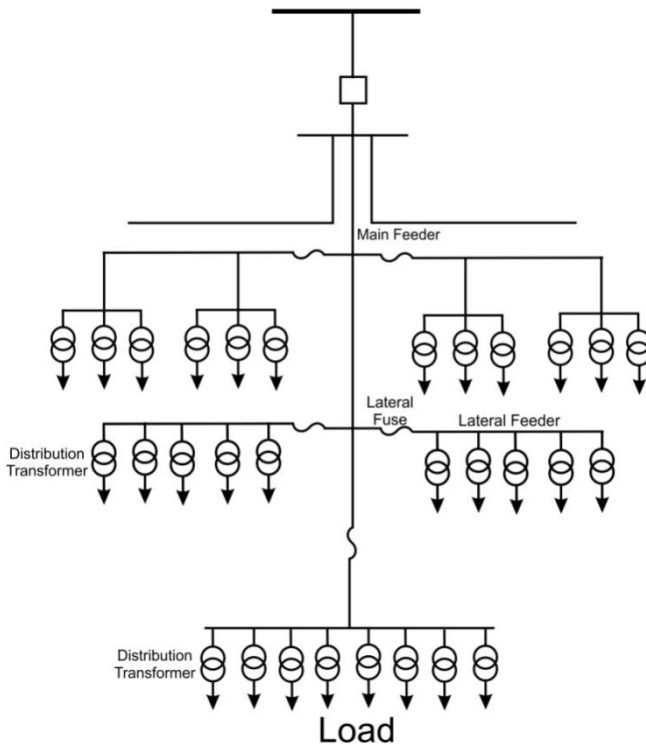
Bila antara titik sumber dan titik bebannya hanya terdapat satu saluran (*line*) dan tidak ada alternatif saluran lainnya maka bentuk jaringan ini merupakan bentuk dasar yang paling sederhana dan paling banyak digunakan dimana bentuk jaringan ini disebut juga dengan jaringan radial karena saluran ini ditarik secara radial dari suatu titik yang merupakan sumber dari jaringan itu, dan dicabang-cabang ke titik-titik beban yang dilayani. Satu daya berasal dari satu titik sumber dan karena adanya pencabangan- pencabangan tersebut, maka arus beban yang mengalir sepanjang saluran menjadi tidak sama besar. Oleh karena kerapatan arus (beban) pada setiap titik sepanjang saluran tidak sama besar, maka luas penampang konduktor pada jaringan bentuk radial ini ukurannya tidak harus sama. Maksudnya, saluran utama (dekat sumber) yang menanggung arus beban besar, ukuran penampangnya relatif besar, dan saluran cabang-cabangnya makin ke ujung dengan arus beban yang lebih kecil, ukurannya lebih kecil pula.

Untuk melokalisasi gangguan, pada bentuk radial ini biasanya diperlengkapi dengan peralatan pengaman berupa *fuse*, *sectionalizer*, *recloser*, atau alat pemutus beban lainnya, tetapi fungsinya hanya membatasi daerah yang mengalami pemadaman total, yaitu daerah saluran sesudah/dibelakang titik gangguan, selama gangguan belum teratasi. Jaringan distribusi radial ini memiliki beberapa bentuk modifikasi, antara lain:

- Radial tipe pohon.
- Radial dengan *tie* dan *switch* pemisah.
- Radial dengan pusat beban.
- Radial dengan pembagian phase area.

#### a. Jaringan Radial Tipe Pohon

Bentuk ini merupakan bentuk paling dasar karena satu saluran utama dibentang menurut kebutuhannya dan selanjutnya dicabangkan dengan saluran cabang (*lateral feeder*) yang kemudian dicabang lagi oleh anak cabang (*sublateral feeder*)

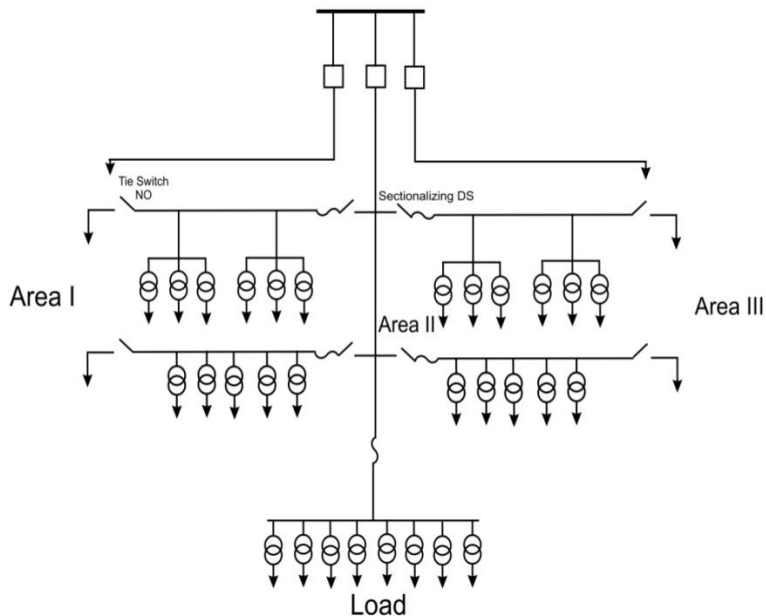


**Gambar 2.3** Jaringan radial tipe pohon

b. Jaringan Radial dengan *Tie* dan *Switch* Pemisah

Jaringan ini merupakan bentuk modifikasi dari bentuk dasar dengan menambahkan *tie* dan *switch* pemisah yang digunakan ketika diperlukan untuk mempercepat pemulihan pelayanan untuk konsumen, dengan cara menghubungkan area – area yang tidak terganggu pada penyulang yang bersangkutan, dengan penyulang sekitarnya. Sehingga dengan cara ini penyulang yang terganggu dapat dilokalisir dan bagian lain yang tidak mengalami gangguan dapat dioperasikan kembali.

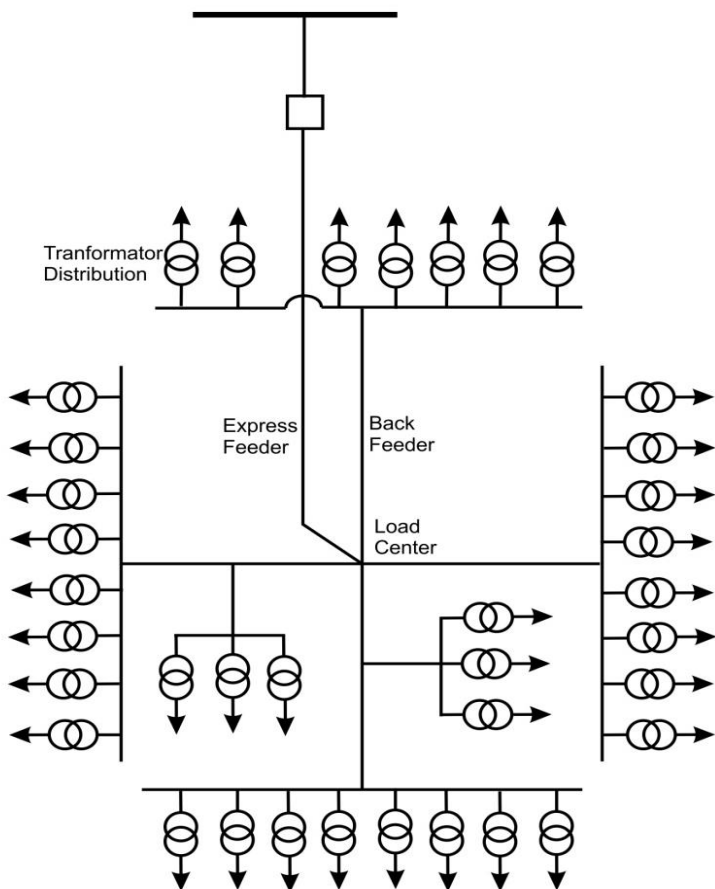




**Gambar 2.4** Jaringan radial dengan *tie* dan *switch*

c. Jaringan Radial Tipe Pusat Beban

Jaringan bentuk ini mencatu daya dengan menggunakan penyulang utama (*main feeder*) yang disebut “*express feeder*” langsung ke pusat beban dan dari titik pusat beban disalurkan menyebar dengan menggunakan “*back feeder*” secara radial.

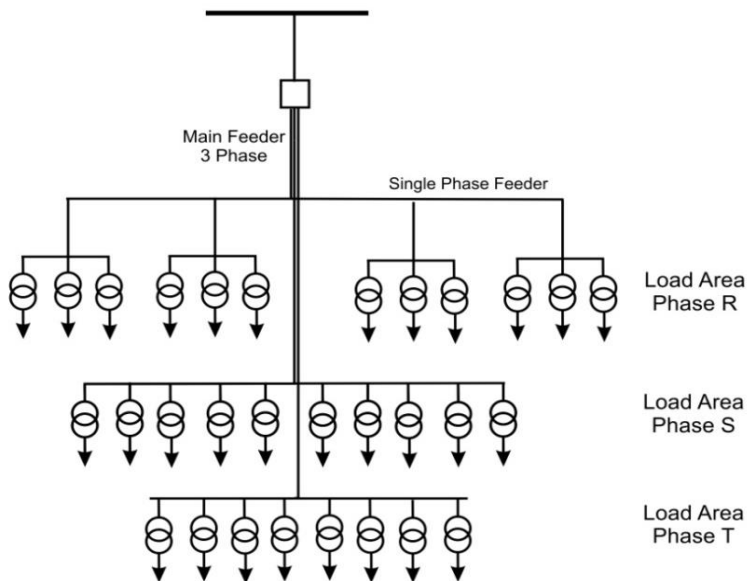


**Gambar 2.5** Jaringan radial dengan tipe pusat beban

d. Jaringan Radial dengan Phase Area

Pada jaringan bentuk ini masing – masing phase pada jaringan bertugas melayani daerah beban yang berlainan. Jenis jaringan ini dapat mengakibatkan tidak seimbangnya beban antar phase apa bila digunakan pada daerah beban baru dan belum pasti pembagian bebannya. Jaringan bentuk ini hanya cocok untuk daerah yang bebannya stabil dan

penambahan bebannya dapat diatur secara merata dan simetris pada setiap phasesnya.



**Gambar 2.6** Jaringan radial dengan phase area

## 2.4 Jenis Gangguan

Gangguan yang sering terjadi pada saluran distribusi 20kV dibagi menjadi dua macam yaitu gangguan yang berasal dari dalam sistem berupa kegagalan yang diakibatkan gagal fungsi dari peralatan listrik pada suatu jaringan dan gangguan yang berasal dari luar sistem seperti gangguan yang disebabkan oleh sentuhan pohon pada saluran distribusi, sambaran petir, manusia, hewan, cuaca dan lain sebagainya.

Berdasarkan jenis gangguannya, terdapat empat jenis tipe kemungkinan yang dapat menyebabkan gangguan pada sistem distribusi, antara lain :

- Tiga phase ke tanah atau *three phase grounded* (3Φ)
- Antar phase atau *line to line* (L-L)
- Dua phase ke tanah atau *double line to ground* (MG)
- Satu phase ke tanah atau *single line to ground* (SLG)

Gangguan – gangguan tersebut merupakan gangguan hubung singkat yang dapat terjadi pada sistem distribusi. Gangguan hubung singkat merupakan gangguan yang terjadi karena terdapat kesalahan antara bagian bertegangan dimana gangguan ini juga dapat terjadi ketika terdapat kerusakan isolasi yang menyebabkan tembusnya tegangan atau gangguan hubung singkat juga dapat disebut sebagai kondisi dimana penghantar pada sistem distribusi terhubung langsung dengan penghantar lainnya ataupun dengan tanah. Berikut merupakan penjelasan untuk setiap jenis gangguan hubung singkat :

- Gangguan hubung singkat tiga phase ke tanah  
Hubung singkat tiga fasa ke tanah merupakan tipe gangguan ini jarang terjadi, namun tetap harus mendapat perhatian. Gangguan ini dapat disebabkan oleh petir yang menyambar ketiga kawat fasa ataupun pohon yang mengenai ketiga kawat fasa.
- Gangguan hubung singkat antar phase  
Gangguan hubung singkat antar phase pada sistem distribusi biasanya diakibatkan oleh adanya kerusakan isolasi antar fasanya, juga gangguan hewan yang melintas pada jaringan distribusi yang menyentuh dua konduktor dari saluran distribusi.
- Gangguan hubung singkat dua phase ke tanah  
Gangguan hubung singkat dua fasa ke tanah dapat terjadi ketika terdapat tegangan lebih yang tinggi pada salah satu fasa dan di samping isolator dari phase tersebut flashover, yang juga terjadi *flashover* ke isolator dari phase yang berada di sebelahnya.
- Gangguan hubung singkat satu phase ke tanah  
Gangguan hubung singkat yang terjadi karena salah satu penghantar phasa yang terhubung ke tanah .Gangguan hubung singkat ini merupakan gangguan yang sering terjadi bila dibandingkan dengan jenis gangguan lainnya yang biasa diakibatkan karena pohon yang tumbang mengenai saluran distribusi.

Berdasarkan durasi atau lamanya gangguan, dibagi menjadi dua bagian yaitu :

- Gangguan sementara/ temporer  
Merupakan gangguan yang timbulnya gangguan bersifat sementara terjadi dalam waktu yang tidak lama dan tidak

memerlukan tindakan dalam arti dapat normal kembali dengan sendirinya dengan penutupan kembali oleh peralatan hubung dan jaringan listrik akan bekerja normal kembali. Jenis gangguan ini dapat merusak peralatan listrik yang ada karena jenis gangguan ini bisa terjadi berulang kali. Jenis gangguan ini ialah : timbulnya flashover antar penghantar dan tanah (tiang, traverse atau kawat tanah) karena sambaran petir, *flashover* dengan pohon-pohon, dan lain sebagainya.

- Gangguan permanen

Merupakan gangguan yang terjadi dalam jangka waktu yang lama atau tetap yang dapat disebabkan oleh rusaknya peralatan listrik dimana gangguan ini hanya dapat hilang setelah dilakukannya perbaikan dan gangguan ini akan menyebabkan terjadinya pemadaman tetap pada jaringan listrik. Contoh: menurunnya kemampuan isolasi padat atau minyak trafo. Di sini akan menyebabkan kerusakan permanen pada trafo, sehingga untuk dapat beroperasi kembali harus dilakukan perbaikan.

#### **2.4.1 Pengaruh Gangguan Terhadap Sistem Distribusi**

Adapun akibat yang ditimbulkan apabila terjadi gangguan pada jaringan sistem distribusi tenaga listrik antaralain seperti :

- Gangguan akan menginterupsi kontinuitas pelayanan daya pada konsumen apabila gangguan yang terjadi hingga menyebabkan terputusnya suatu rangkaian atau jalur distribusi.
- Ketika gangguan menyebabkan terjadinya penurunan tegangan yang cukup besar maka hal tersebut berarti kualitas listrik yang diterima oleh konsumen rendah sehingga akan berpengaruh terhadap kerja dari peralatan – peralatan listrik baik milik PLN maupun konsumen.
- Kurangnya stabilitas dari sistem dan dapat menyebabkan jatuhnya pembangkit atau generator.
- Dapat merusak peralatan listrik pada daerah yang mengalami gangguan.

## **BAB III**

### **KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20KV AREA TANJUNG KARANG**

Pada bab ini membahas tentang keandalan sistem distribusi 20kV pada Rayon Tanjung Karang dengan data-data penunjang.

#### **3.1 Keandalan Sistem Distribusi**

Keandalan atau reliability menyatakan kemungkinan suatu peralatan (device) yang bekerja sesuai standarnya dalam selang waktu dan kondisi tertentu. Analisa bentuk kegagalan merupakan suatu analisa bagian dari sistem atau peralatan yang dapat gagal, bentuk kegagalan yang mungkin, efek masing-masing, bentuk kegagalan dari sistem yang kompleks.

Keandalan dalam sistem distribusi merupakan suatu ukuran tingkat pelayanan penyedia tenaga listrik dari sistem ke konsumen. Yang mana ukuran keandalan ini dapat dilihat dari seberapa banyak atau seberapa sering sistem mengalami pemadaman dan juga seberapa lama sistem mengalami pemadaman serta seberapa cepat waktu yang dibutuhkan oleh sistem untuk memulihkan kembali kondisi dari saat terjadinya pemadaman. Tingkat keandalan suatu jaringan dibedakan menjadi tiga yaitu :

- Keandalan Sistem Tinggi

Pada keadaan normal sistem dapat memberikan kapasitas yang cukup untuk kebutuhan beban puncak dengan variasi tegangan yang baik dan dalam keadaan bila terjadi gangguan maka sistem maka sistem ini memerlukan peralatan dan pengamanan yang cukup banyak agar terhindar dari berbagai macam gangguan.

- Keandalan Sistem Menengah

Pada keadaan normal sistem dapat memberikan kapasitas yang cukup untuk kebutuhan beban puncak dengan variasi tegangan yang baik dan dalam keadaan bila terjadi gangguan maka sistem masih dapat memberikan supply kepada sebagian beban dalam keadaan beban puncak. Jadi dalam sistem membutuhkan peralatan yang cukup banyak untuk mengatasi gangguan – gangguan pada sistem.

- Keandalan Sistem Rendah

Pada keadaan normal sistem dapat memberikan kapasitas yang cukup untuk kebutuhan beban puncak dengan variasi tegangan yang baik dan dalam keadaan bila terjadi gangguan maka sistem tidak dapat memberikan supply pada semua beban sehingga sistem perlu diperbaiki terlebih dahulu yang mana berarti sistem ini peralatan pengamannya masih kurang dan relatif sedikit jumlahnya.

Gangguan – gangguan yang terjadi hingga menyebabkan pemadaman pada konsumen biasanya terjadi pada bagian saluran distribusi tegangan menengah yang mana banyak terjadi akibat dari gangguan pada saluran udara (*Overhead*). Keandalan pada sistem bergantung pada komponen – komponen yang bekerja dan membentuk sebuah sistem. Berikut merupakan hal – hal yang ada dalam keandalan antara lain :

- Fungsi

Keandalan suatu sistem dapat dilihat dari sistem yang dapat melakukan fungsinya secara baik dan sesuai dengan standar dalam keadaan tertentu. Kegagalan fungsi dapat diakibatkan karena tidak berjalannya perawatan pada sistem dengan baik.

- Lingkungan

Keandalan setiap peralatan sangat berpengaruh dari kondisi lingkungan ketika peralatan sedang bekerja. Gangguan pada saluran udara ini akibat lingkungan banyak dipengaruhi oleh berbagai hal seperti kondisi cuaca seperti hujan, angin, dan petir serta lingkungan sekitar seperti pohon ataupun hewan serta hal lain seperti penyimpanan, instalasi, pemakai, debu, kimia dan polutan lainnya terhadap sistem.

- Waktu

Keandalan suatu sistem akan berkurang seiring berjalannya waktu, hal ini merupakan pengaruh dari semakin lama umur kerja sebuah peralatan maka kualitas keandalannya akan semakin menurun yang mengakibatkan probabilitas kegagalan lebih tinggi.

- Probabilitas

Keandalan diukur sebagai probabilitas. Sehingga probabilitas yang selalu berubah - ubah terhadap waktu merupakan bagian dari bidang statistik dan analisa statistik.

Dalam sistem distribusi tegangan menengah, saluran udara banyak digunakan salah satunya adalah karena biaya yang dibutuhkan dalam instalasi lebih sedikit bila dibandingkan dengan saluran kabel bawah tanah yang mana saluran jenis ini lebih jarang terkena gangguan karena tidak banyak dipengaruhi cuaca dan lingkungan sekitar. Akan tetapi penggunaan kabel saluran bawah tanah ini membutuhkan waktu yang lama ketika mengalami gangguan hingga pulih atau normal kembali, sehingga saluran udara lebih banyak digunakan oleh PLN dalam pendistribusian daya listrik.

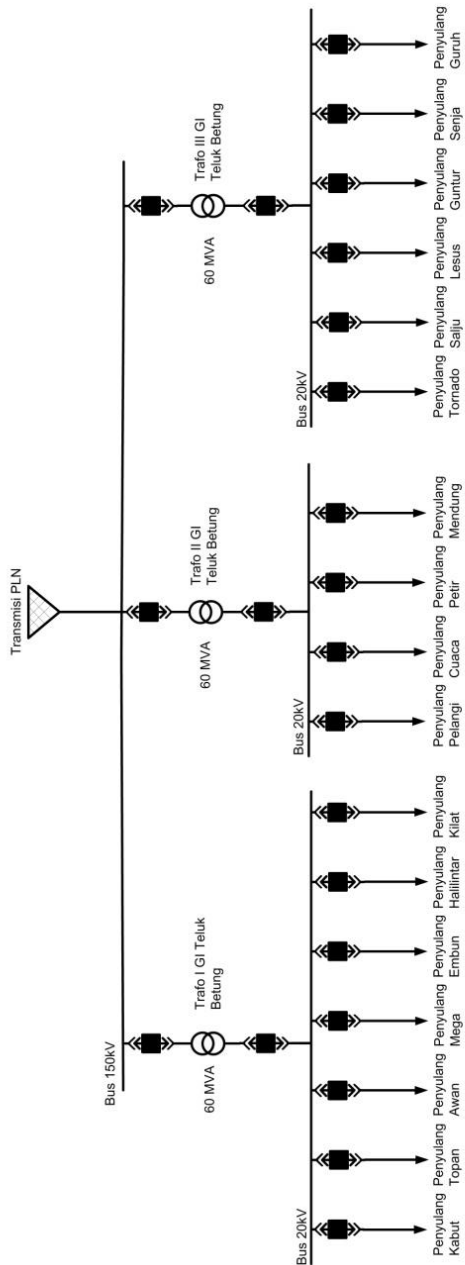
Gardu Induk Teluk Betung berada di bawah PLN Area Tanjung Karang (Bandar Lampung) dimana GI memiliki tiga buah transformator utama yang menurunkan tegangan transmisi 150kV ke tegangan distribusi 20kV. Transformator 1 memiliki tujuh penyulang aktif, Transformator 2 memiliki empat penyulang aktif, dan transformator 3 memiliki 6 penyulang aktif seperti Tabel berikut :



**Tabel 3.1** Daftar Penyulang GI Teluk Betung

<b>Nama GI</b>	<b>Trafo</b>	<b>MVA</b>	<b>Nama Penyulang</b>	<b>Keterangan</b>
GI Teluk Betung	I	60	Kabut	Kota
			Topan	Kota
			Awan	Kota
			Mega	Kota
			Embun	Kota
			Halilintar	Kota
			Kilat	Luar Kota
	II	60	Pelangi	Kota
			Hujan (ex. Cuaca)	Luar Kota
			Petir	Kota
			Mendung	Luar Kota
	III	60	Tornado (ex. Badai)	Kota
			Salju (ex. Hujan)	Kota
			Lesus (ex. Guntur)	Kota
			Kemarau (ex. Gerimis)	Kota
			Senja	Kota
			Guruh	Kota

Rata – rata penyulang terdistribusikan ke area perkotaan dimana mayoritas beban perkotaan pada bandar lampung adalah perumahan, dan juga beban untuk perkantoran dan gedung – gedung lainnya dimana perkembangan perumahan dan perkantoran akan terus meningkat dari tahun ke tahun. Untuk meningkatkan kontinuitas pelayanan terhadap pelanggan maka tingkat keandalan sistem distribusipun harus semakin meningkat. Berikut merupakan *Single Line Diagram* GI Teluk Betung:



**Gambar 3.1** *Single Line Diagram* GI Teluk Betung

### 3.2 Definisi Dasar dalam Keandalan Sistem Distribusi

Berikut adalah definisi – definisi dasar yang ada dalam keandalan distribusi berdasarkan SPLN59 1985 yaitu sebagai berikut :

- Pemadaman (*Interruption of Supply*)  
Terhentinya pelayanan pada satu atau lebih konsumen, akibat dari satu atau lebih komponen mendapat gangguan.
- Keluar (*Outage*)  
Keadalan dimana dalam suatu komponen tidak dapat berfungsi sebagaimana mestinya, diakibatkan karena beberapa peristiwa yang berhubungan dengan komponen tersebut. Suatu kelua dapat atau tidak dapat menyebabkan pemadaman, hal ini masih bergantung pada konfigurasi dari sistem.
- Lama Keluar (*Outage Duration*)  
Periode dari saat komponen mengalami outage hingga saat komponen dioperasikan kembali sesuai dengan fungsinya.
- Lama Keluar Paksa Transien (*Transient Forced Outage Duration*)  
Waktu singkat, karena alat pemutus mampu bekerja menutup kembali dengan cepat, tanpa merusak komponen.
- Lama Keluar Paksa Permanen (*Permanent Forced Outage Duration*)  
Waktu yang diperlukan dari saat permulaan komponen mengalami keluar sampai komponen mendapat perbaikan.
- Lama Keluar Terencana (*Scheduled Outage Duration*)  
Waktu yang diperlukan untuk perawatan dan pemeliharaan komponen yang telah direncanakan.
- Lama Pemadaman (*Interruption Duration*)  
Waktu dari saat permulaan terjadinya pemadaman hingga menyala kembali.
- Kegagalan Parsial (*Partial Failure*)  
Kegagalan parsial menggambarkan sebuah komponen yang bekerjanya tidak dapat sama dengan kemampuan yang semestinya tetapi tidak berarti tidak bekerja sama sekali.
- Kegagalan Total (*Complete Failure*)  
Kegagalan total, menggambarkan kondisi sebuah komponen yang sama sekali tidak bisa bekerja.
- Keluar Paksa Transien (*Transient Forced Outage*)  
Keluar paksa penyebabnya bisa hilang dengan sendirinya, sehingga alat atau komponen yang gagal tersebut bisa berfungsi

normal kembali secara otomatis aatau setelah sebuah pemutus ditutup kembali atau pelebur diganti. Contoh : Sambaran petir yang tidak menyebabkan alat atau komponen mengalami kerusakan.

- Pemadaman Paksa (*Forced Interruption*)  
Pemadaman yang disebabkan oleh keluar darurat.
- Pemadaman Terencana (*Scheduled Interruption*)  
Pemadaman yang disebabkan oleh keluar terencana.
- Pemadaman Sejenak (*Momentary Interruption*)  
Pemadaman yang waktunya terbatas diperluka hanya untuk mengembalikan suplai dengan cara otomatis, dengan cara pengaturan jarak jauh atau dengan cara manual yang langsung dikerjakan oleh operator yang sudah siap di tempat. Pemadaman ini biasanya tidak lebih dari 5 menit.
- Pemadaman Temporer (*Temporary Interruption*)  
Pemadaman yang waktunya terbatas diperlukan hanya untuk mengembalikan suplai dengan cara manual yang dikerjakan oleh operator yang tidak siap ditempat.
- Pemadaman Bertahan (*Sustained Interruption*)  
Pemadaman yang bukan pemadaman sejenak, dan juga bukan pemadaman temporer.

### **3.3 Standar Keandalan Sistem Kelistrikan Jaringan Distribusi 20kV**

Setiap peralatan listrik pada jaringan distribusi memiliki nilai laju kegagalan yang mana bentuk kegagalan dari peralatan listrik atau komponen menyebabkan zona pengaman disekiran komponen yang mengalami kegagalan tersebut. Selain itu, komponen atau peralatan listrik juga memiliki Repair Time atau waktu perbaikan yang merupakan lamanya waktu yang dibutuhkan untuk perbaikan komponen dari mulai terjadi gangguan hingga beban terpenuhi kembali. Berikut merupakan beberapa nilai laju kegagalan dari komponen atau peralatan listrik berdasarkan SPLN 1985 adalah sebagai berikut :

**Tabel 3.2** Nilai Laju Kegagalan dan Repair Time

Komponen	Laju Kegagalan	Repair Time
Saluran Udara	0.2/km/tahun	3 Jam
Pemutus Tenaga	0.004/unit/tahun	10 Jam
Sakelar Beban	0.003/unit/tahun	10 Jam
Sakelar Pemisah	0.003/unit/tahun	10 Jam
Trafo Distribusi	0.005/unit.tahun	10 Jam

Adapun waktu yang dibutuhkan untuk membuka/menutup sakelar beban atau sakelar pemisah atau yang biasa disebut dengan istilah Switching Time yaitu selama 0.15 jam.

Dalam keandalan sistem distribusi 20kV, terdapat indeks frekuensi kegagalan (SAIFI) dan juga indeks durasi (SAIDI) kegagalan dengan nilai standar atau target dari PLN (Majalah Fokus yang diterbitkan PT. PLN) adalah sebagai berikut :

SAIFI : 1.2 kali/pelanggan/tahun

SAIDI : 50 menit/pelanggan/tahun(0.83 jam/pelanggan/tahun)

Sedangkan untuk standar berdasarkan IEEE P1366-2003, nilai indeks keandalannya adalah sebagai berikut :

SAIFI : 1.26 kali/pelanggan/tahun

SAIDI : 1.9 jam/pelanggan/tahun

### **3.4 Metode Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)**

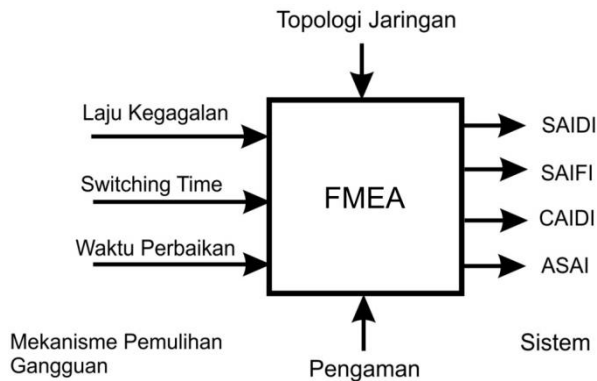
Failure Modes and Effects Analysis adalah metode yang digunakan untuk menganalisis suatu keandalan suatu sistem yang mana FMEA digunakan untuk mengidentifikasi kemungkinan – kemungkinan terjadinya mode kegagalan dari setiap komponen serta mengidentifikasi penyebab – penyebab kegagalan. Setiap kegagalan yang ditimbulkan oleh masing – masing komponen akan memberikan pengaruh atau efek yang akan ditimbulkan dari kegagalan pada komponen tersebut.

Secara fungsional FMEA mengasumsikan sebuah kegagalan lalu diidentifikasi dan dianalisa bagaimana pengaruh dari kegagalan tersebut, berikut merupakan kegunaan dari FMEA :

- Dapat digunakan untuk prefentive maintenance
- Untuk mendata alat deteksi yang ada jika terjadi kegagalan.
- Pemakaian proses baru
- Untuk penggantian peralatan

FMEA dalam penggunaannya untuk analisis keandalan dalam suatu sistem distribusi tenaga listrik yang didasarkan dari kegagalan dari peralatan – peralatan listrik akan mempengaruhi operasi sistem. Berikut adalah beberapa hal yang dibutuhkan untuk analisis keandalan sistem distribusi dengan menggunakan metode FMEA :

- Dibutuhkannya topologi atau konfigurasi dari penyulang (feeder) sistem distribusi 20kV.
- Data jaringan yang dimiliki oleh setiap peralatan yang ada pada jaringan seperti laju kegagalan, *repair time* dan *switching time* serta data pendukung lainnya pada peralatan.
- Data konsumen yang meliputi jumlah pelanggan pada setiap titik beban.
- Penjumlahan laju kegagalan dan lamanya gangguan rata – rata yang berpengaruh pada setiap *load point* akibat dari kegagalan, dimana nilai laju kegagalan dan lama gangguan rata - rata sebagai dasar untuk menghitung indeks SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASAI dan ASUI.



**Gambar 3.2** Skema input dan output FMEA

### 3.5 Indeks Keandalan

Untuk mendapatkan hasil indeks keandalan dari metode FMEA dapat dilakukan dengan perhitungan dimana indeks keandalan yang dihitung untuk setiap *load point* dan indeks keandalan secara keseluruhan seperti yang telah dijelaskan diatas adalah :

- *Failure rate* atau laju kegagalan untuk setiap *load point* ( $\lambda_{LP}$ ) yang merupakan hasil penjumlahan dari indeks – indeks secara keseluruhan dalam sistem dengan persamaan sebagai berikut :

$$\lambda_{LP} = \sum \lambda_i$$

$\lambda$  : Laju kegagalan

- Lama durasi pemadaman pada setiap *load point* ( $U_{LP}$ ), dengan persamaan sebagai berikut :

$$U_{LP} = \sum \lambda_i \cdot r_i$$

$r$  : Waktu perbaikan/ *switching time*

Adapun indeks keandalan secara keseluruhan yang biasa digunakan untuk mengetahui tingkat kenadalan ataupun kemampuan suatu jaringan distribusi antara lain :

- SAIFI (*System Average Interruption Frequency Index*)  
Indeks ini dibuat untuk memberikan informasi mengenai frekuensi rata – rata dari pemadaman bertahan atau *sustained interruption* setiap pelanggan pada area yang telah ditetapkan dalam satu tahun. Indeks ini dapat dihitung dengan cara sebagai berikut :

$$SAIFI = \frac{\text{Jumlah total pemadaman}}{\text{Total jumlah pelanggan yang dilayani}}$$

$$SAIFI = \frac{\sum \lambda_{LP} \times N_{LP}}{\sum N} (\text{kegagalan/tahun} * \text{pelanggan})$$

Dimana :

$\lambda_{LP}$  : Jumlah laju kegagalan load point dalam satu tahun (kegagalan/tahun)

$N_{LP}$  : Jumlah pelanggan *load point* yang mengalami pemadaman

$N$  : Jumlah pelanggan pada penyulang

- SAIDI (*System Average Interruption Duration Index*)  
Indeks ini biasanya digunakan untuk mengetahui menit/waktu pemadaman pada pelanggan dan dibuat untuk memberikan informasi mengenai waktu rata – rata konsumen yang mengalami pemadaman. Indeks ini dapat dihitung dengan cara :

$$SAIDI = \frac{\Sigma \text{Durasi pemadaman pelanggan}}{\text{Total jumlah pelanggan yang dilayani}}$$

$$SAIDI = \frac{\Sigma U_{LP} \times N_{LP}}{\Sigma N} (\text{jam/tahun} * \text{pelanggan})$$

Dimana :

U : Waktu rata – rata kegagalan *load point* dalam satu tahun (jam/tahun)

$N_{LP}$  : Jumlah pelanggan *load point* yang mengalami pemadaman

N : Jumlah pelanggan pada penyulang

- CAIDI (*Customer Average Interruption Duration Index*)

Indeks ini memperlihatkan rata – rata waktu yang dibutuhkan untuk mengembalikan pelayanan untuk rata – rata pelanggan dalam setiap interupsi/gangguan.

$$CAIDI = \frac{\Sigma \text{Durasi pemadaman pelanggan}}{\text{Jumlah total gangguan pelanggan}}$$

$$CAIDI = \frac{SAIDI}{SAIFI} (\text{jam/pelanggan} * \text{kegagalan})$$

- ASAI (*Average Service Availability Index*)

Merupakan indeks yang merepresentasikan waktu ketersediaan daya untuk pelanggan dalam satu tahun.

$$ASAI = \frac{\text{Jam ketersediaan pelayanan pelanggan}}{\text{Kebutuhan jam pelayanan pelanggan}}$$

$$ASAI = \frac{\Sigma N_{LP} \times 8760 - (\Sigma N_{LP} \cdot U_{LP})}{\Sigma N_{LP} \times 8760}$$

Dimana :

U : Waktu rata – rata kegagalan *load point* dalam satu tahun (jam/tahun)

$N_{LP}$  : Jumlah pelanggan *load point* yang mengalami pemadaman

8760 : Jumlah total jam dalam satu tahun



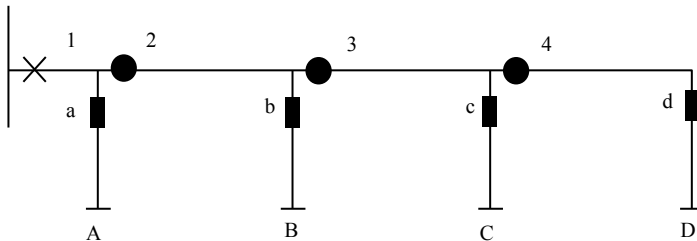
- ASUI (*Average Service Unavailability Index*)  
Merupakan indeks yang merepresentasikan waktu ketidaktersediaan daya untuk pelanggan dalam satu tahun.

$$ASUI = 1 - \left( \frac{\text{Jam ketersediaan pelayanan pelanggan}}{\text{Kebutuhan jam pelayanan pelanggan}} \right)$$

$$ASUI = 1 - ASAI$$

### 3.6 Contoh Evaluasi Dasar Menggunakan Metode FMEA

Berikut merupakan contoh dasar penggunaan metode FMEA dalam mencari indeks keandalan SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASAI dan ASUI dengan menggunakan topologi seperti pada gambar 3.3 dengan sistem radial yang menggunakan *sectionalizer* dan *fuse*.



**Gambar 3.3** Topologi Jaringan Dasar

Jaringan ini terdiri dari empat section yang dipisahkan oleh tiga *sectionalizer* serta empat *fuse* pada masing – masing distribusi dimana probabilitas untuk fuse dan breaker selalu berhasil adalah 1.

Berikut merupakan tabel data saluran pada topologi diatas :

**Tabel 3.3** Data Saluran

Komponen	Panjang (Km)	$\lambda_L$ f/year	$r_L$ Jam
Section			
1	2	0.2	4
2	1	0.1	4
3	3	0.3	4
4	2	0.2	4

**Tabel 3.3** Data Saluran

Komponen	Panjang (Km)	$\lambda_L$ f/year	$r_L$ Jam
Distributor			
a	1	0.2	2
b	3	0.6	2
c	2	0.4	2
d	1	0.2	2
Load Point	Jumlah Pelanggan	Rata – rata Beban Terhubung (kW)	
A	1000	5000	
B	800	4000	
C	700	3000	
D	500	2000	

Dengan nilai *switching time* yaitu sebesar 0.5 jam.

Maka dengan menggunakan metode FMEA menggunakan Tabel untuk melakukan perhitungan sebagai berikut :

**Tabel 3.4** Evaluasi Keandalan Metode FMEA

Komponen Gagal	LP A			LP B			LP C			LP D		
	$\lambda_L$ f/yr	$r_L$ Hr	U Hr/yr	$\lambda_L$ f/yr	$r_L$ Hr	U Hr/yr	$\lambda_L$ f/yr	$r_L$ Hr	U Hr/yr	$\lambda_L$ f/yr	$r_L$ Hr	U Hr/yr
Section												
1	0.2	4	0.8	0.2	4	0.8	0.2	4	0.8	0.2	4	0.8
2	0.1	0.5	0.05	0.1	4	0.4	0.1	4	0.4	0.1	4	0.4
3	0.3	0.5	0.15	0.3	0.5	0.15	0.3	4	1.2	0.3	4	1.2
4	0.2	0.5	0.1	0.2	0.5	0.1	0.2	0.5	0.1	0.2	4	0.8
Distributor												
a	0.2	2	0.4									
b				0.6	2	1.2						
c							0.4	2	0.8			
d										0.2	2	0.4
Total	1	1.5	1.5	1.4	1.89	2.65	1.2	2.75	3.3	1	3.6	3.6

Hasil tabel tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut :

- Kegagalan pada *section 1* menyebabkan *breaker* utama bekerja (*open*), maka akan terjadi pemadaman pada load point A hingga load point D sehingga semua load point mendapatkan *repair time* selama 4 jam dari perbaikan section 1.
- Kegagalan pada *section 2* menyebabkan *breaker* utama bekerja (*open*), maka akan terjadi pemadaman pada load point A hingga

*load point D*, namun terdapat *sectionalizer* pada bagian depan *section 2* sehingga dapat melokalisir gangguan dengan membuka *sectionalizer* dan *load point A* dapat tersuplai kembali setelah *breaker* utama ditutup kembali, sehingga untuk *load point A* mendapatkan *switching time* selama 0.5 jam dan *load point B* hingga *load point D* mendapatkan *repair time* selama 4 jam.

- Kegagalan pada *section 3* menyebabkan *breaker* utama bekerja (*open*), maka akan terjadi pemadaman pada *load point A* hingga *load point D*, namun terdapat *sectionalizer* pada bagian depan *section 3* sehingga dapat melokalisir gangguan dengan membuka *sectionalizer* dan *load point A* dan *load point B* dapat tersuplai kembali setelah *breaker* utama ditutup kembali, sehingga untuk *load point A* dan *load point B* mendapatkan *switching time* selama 0.5 jam dan *load point C* dan *load point D* mendapatkan *repair time* selama 4 jam.
- Kegagalan pada *section 4* menyebabkan *breaker* utama bekerja (*open*), maka akan terjadi pemadaman pada *load point A* hingga *load point D*, namun terdapat *sectionalizer* pada bagian depan *section 4* sehingga dapat melokalisir gangguan dengan membuka *sectionalizer* dan *load point A* hingga *load point C* dapat tersuplai kembali setelah *breaker* utama ditutup kembali, sehingga untuk *load point A* hingga *load point C* mendapatkan *switching time* selama 0.5 jam dan *load point D* mendapatkan *repair time* selama 4 jam.
- Kegagalan pada distributor a akan menyebabkan *fuse* pada pangkal distributor a bekerja sehingga terjadi pemadaman pada *load point A*, namun kegagalan ini tidak berpengaruh pada *load point B* hingga *load point C* karena *fuse* langsung melokalisir gangguan tanpa membuat *breaker* utama bekerja. Maka hanya *load point A* saja yang mendapatkan *repair time* selama 2 jam.
- Kegagalan pada distributor b akan menyebabkan *fuse* pada pangkal distributor b bekerja sehingga terjadi pemadaman pada *load point B*, namun kegagalan ini tidak berpengaruh pada *load point A*, *load point B* dan *load point C* karena *fuse* langsung melokalisir gangguan tanpa membuat *breaker* utama bekerja. Maka hanya *load point B* saja yang mendapatkan *repair time* selama 2 jam.
- Kegagalan pada distributor c akan menyebabkan *fuse* pada pangkal distributor c bekerja sehingga terjadi pemadaman pada *load point C*, namun kegagalan ini tidak berpengaruh pada *load*

point A, load point B dan load point D karena fuse langsung melokalisir gangguan tanpa membuat *breaker* utama bekerja. Maka hanya load point C saja yang mendapatkan *repair time* selama 2 jam.

- Kegagalan pada distributor d akan menyebabkan fuse pada pangkalan distributor d bekerja sehingga terjadi pemadaman pada load point D, namun kegagalan ini tidak berpengaruh pada load point A hingga load point C karena fuse langsung melokalisir gangguan tanpa membuat *breaker* utama bekerja. Maka hanya load point D saja yang mendapatkan *repair time* selama 2 jam.

Dari tabel 3.4 FMEA diatas dapat dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai indeks keandalan dari jaringan distribusi tersebut yaitu sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 SAIFI &= \frac{\sum \lambda_{LP} \times N_{LP}}{\sum N} \\
 &= \frac{(1000 \times 1) + (800 \times 1.4) + (700 \times 1.2) + (500 \times 1)}{1000 + 800 + 700 + 500} \\
 &= 1.153 \text{ kali/pelanggan/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 SAIDI &= \frac{\sum U_{LP} \times N_{LP}}{\sum N} \\
 &= \frac{(1000 \times 1.5) + (800 \times 2.65) + (700 \times 3.3) + (500 \times 3.6)}{1000 + 800 + 700 + 500} \\
 &= 2.57 \text{ jam/pelanggan/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 CAIDI &= \frac{SAIDI}{SAIFI} \\
 &= \frac{2.57}{1.153} \\
 &= 2.23 \text{ jam/pelanggan/tahun}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ASAI &= \frac{\sum N_{LP} \times 8760 - (\sum N_{LP} \cdot U_{LP})}{\sum N_{LP} \times 8760} \\
 &= \frac{3000 \times 8760 - 7476}{3000 \times 8760} \\
 &= 0.9997058
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 ASUI &= 1 - ASAI \\
 &= 1 - 0.9997058 \\
 &= 0.0002942
 \end{aligned}$$

### 3.7 Peningkatan Keandalan Sistem Distribusi

Terdapat dua hal yang harus diperhatikan untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi ini antara lain adalah :

- Frekuensi pemadaman  
Untuk mengurangi frekuensi pemadaman dapat dilakukan dengan cara *preventive maintenance* atau perawatan atau pemeliharaan secara berkala pada peralatan – peralatan yang digunakan dalam jaringan distribusi. Dengan hal ini dapat meningkatkan kinerja atau performa peralatan pada sistem secara menyeluruh.
- Durasi pemadaman  
Untuk mengurangi durasi pemadaman dapat dilakukan dengan penggantian metode konvensional menjadi otomatisasi pada peralatan jaringan distribusi yang memulihkan jaringan distribusi yang terkena gangguan sehingga mendapatkan supply tenaga listrik kembali juga dapat memperbaiki tingkat keandalan sistem.

Rekonfigurasi jaringan sistem distribusi juga merupakan salah satu cara untuk meningkatkan indeks keandalan sistem dengan melakukan penambahan peralatan *sectionalizer* dan juga *fusegear* yang diletakan pada beberapa alternatif lokasi. Dalam penggunaan *sectionalizer* terdapat dua kondisi yaitu *perfect switching* yang berarti *sectionalizer* bekerja dengan sempurna tanpa ada terjadinya kegagalan operasi dan *imperfect switching* yaitu kondisi dimana *sectionalizer* dapat mengalami kegagalan operasi sehingga tidak dapat melokalisir gangguan. Sama halnya dengan *fuse* yang dapat bekerja sempurna tanpa terjadi kegagalan pada setiap terjadinya gangguan dan juga memiliki kemungkinan gagal untuk memproteksi.

Pada tugas akhir ini, dalam rekonfigurasi kondisi yang digunakan yaitu *sectionalizer* akan bekerja secara sempurna atau *perfect switching* dalam melokalisir gangguan dan tidak ada kegagalan proteksi oleh *fuse*, sehingga *fuse* akan selalu berhasil memutus saluran ketika terjadi gangguan. Dalam rekonfigurasi diawali dengan pemodelan jaringan yang akan dianalisis dengan topologi yang dideskripsikan dengan cabang – cabangnya yang mana setiap cabang dan semua komponen

juga dipertimbangkan seperti jumlah cabang dan ujung cabang, jumlah komponen, jumlah titik supply, jumlah load point dan *tie switch* normally open serta data pelanggan, dan data keandalan setiap peralatan. Dari dasar tersebut maka selanjutnya *sectionalizer* dan *fuse* ditempatkan pada lokasi – lokasi yang ditentukan. Perubahan penempatan *sectionalizer* dan *fuse* akan berpengaruh dengan nilai indeks keandalan. Dengan melakukan perubahan untuk lokasi *sectionalizer* dan *fuse* maka akan didapatkan prioritas lokasi untuk penempatan komponen yang akan mendapatkan nilai indeks yang optimal.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB IV**

### **EVALUASI KEANDALAN SISTEM DISTRIBUSI 20KV AREA TANJUNG KARANG**

Evaluasi keandalan digunakan untuk mengetahui bagaimana keandalan atau performa suatu sistem distribusi ketika terjadi kegagalan dan untuk memprediksi sistem untuk waktu kedepan. Prediksi sistem merupakan cara yang dapat dilakukan untuk memperkirakan keandalan suatu sistem dengan penambahan beberapa komponen dengan melihat kebutuhan dan biaya, namun untuk saat ini lebih banyak digunakan untuk menilai suatu performa keandalan sistem dibandingkan dengan untuk memperkirakan keandalan diwaktu mendatang.

Pada tugas akhir ini menggunakan metode *Failure Modes and Effects Analysis* (FMEA) untuk membantu dalam mengevaluasi keandalan sistem distribusi 20kV, sehingga didapatkan nilai indeks – indeks keandalan (SAIDI, SAIFI, CAIDI, ASAI dan ASUI) berdasarkan data – data jaringan distribusi seperti topologi jaringan, laju kegagalan, *repair time* dan *switching time* dari masing – masing komponen dalam jaringan distribusi tersebut.

Pada tugas akhir ini untuk komponen section diasumsikan bahwa komponen tersebut selalu bekerja dengan sempurna sesuai dengan fungsinya atau dapat disebut juga dengan *perfect switching* dan untuk komponen *fuse* juga diasumsikan selalu berhasil mengamankan ketika terjadi gangguan. Hal ini dilakukan untuk mempermudah dalam analisis keandalan.

Dalam evaluasi keandalan menggunakan metode FMEA ini mode kegagalan berasal dari komponen – komponen utama yang digunakan atau yang ada pada jaringan distribusi seperti *circuit breaker* (CB), trafo distribusi, saluran udara tegangan menengan (SUTM) dan *sectionalizer* dimana keempat komponen tersebut memiliki nilai laju kegagalan dan *repair time* masing – masing. Dari mode kegagalan dari setiap komponen tersebut pada jaringan akan menimbulkan pengaruh atau efek pada *load point* maka akan didapatkan tabel FMEA pengaruh mode kegagalan terhadap *load point*. Selanjutnya dapat diketahui jumlah total untuk laju kegagalan dan lamanya durasi pemadaman untuk masih – masing *load point* yang mana nilai tersebut digunakan untuk mendapatkan nilai indeks keandalan pada jaringan distribusi.

Upaya perbaikan indeks keandalan dilakukan ketika nilai indeks keandalan pada suatu jaringan masih berada diluar standar, maka ketika



dilakukan upaya perbaikan ini diharapkan indeks keandalan jaringan dapat sesuai dengan standar ataupun mendekati. Upaya perbaikan ini dilakukan dengan cara rekonfigurasi pada jaringan dengan menempatkan komponen *sectionalizer* dan *fuse* pada alternatif – alternatif lokasi untuk mendapatkan nilai indeks keandalan yang lebih baik atau optimal.

#### 4.1 Sistem Distribusi GI Teluk Betung

Gardu Induk Teluk Betung memiliki tiga trafo daya utama dan terdiri dari tujuh belas penyulang. Pada tugas akhir ini analisis dilakukan pada penyulang – penyulang yang berasal dari trafo daya yang berbeda yaitu penyulang kabut, penyulang awan dan penyulang mega dari trafo satu, penyulang pelangi dari trafo dua dan penyulang lesus dari trafo tiga. Yang mana penyulang – penyulang tersebut berada di lokasi PT. PLN (Persero) Area Tanjung Karang.

##### 4.1.1 Data Penyulang Kabut

Penyulang kabut memiliki data jaringan sebagai berikut :

**Tabel 4.1** Data Trafo dan Jumlah Pelanggan Penyulang Kabut

DATA TRAF0			
No. LP	Trafo	Kapasitas KVA	pelanggan
1	B 120	100	167
2	B119	315	1
3	B84	160	1
4	K 0030	200	265
5	K 0626	160	1
6	K 0828	630	833
7	K 0207	100	132
8	K 0749	160	1
9	K 0248	100	132
10	K 0669	50	66
11	K 0045	200	265
12	K 0830	160	1
13	K 0060	400	529
14	K 0126	250	331
15	K 0033	200	265
16	K 0905	50	66
17	K 0889	50	1
18	K 0538	630	1
19	K 0190	100	132
20	K 0909	50	1
21	K 0694	200	265

**Tabel 4.1** Data Trafo dan Jumlah Pelanggan Penyulang Kabut  
(Lanjutan)

DATA TRAFO			
No. LP	Trafo	Kapasitas KVA	pelanggan
22	K 0522	200	265
23	K 0308	160	212
24	K 0051	200	265
25	K 0760	50	1
26	K 0758	50	66
27	K 0850	100	132
28	K 0217	200	265
29	K 0292	100	132
30	K 0678	50	66
31	K 0501	250	331
32	K 0596	200	1
33	K 0195	400	529
34	K 0904	630	1
35	K 0137	200	265
36	K 0069	250	331
37	K 0824	100	1
38	K 0086	100	132
39	K 0110	200	265
40	K 0076	100	132
41	K 0690	100	132
42	K 0799	100	1
43	K 0328	200	265
44	K 0761	100	1
45	K 0762	1000	1
46	K 0019	250	331
47	K 0767	100	1
48	K 0107	200	265
49	K 0800	160	1
50	K 0712	100	132
51	K 0180	400	529
52	K0951	160	212
53	K 0327	100	1
54	K 0725	100	1
55	K 0856	50	1
56	K 0855	50	1
57	K 0781	100	1
58	K 0875	50	66
59	K 0597	400	1
60	K 0721	100	132
61	K 0647	160	1

**Tabel 4.1** Data Trafo dan Jumlah Pelanggan Penyulang Kabut (Lanjutan)

DATA TRAFO			
No. LP	Trafo	Kapasitas KVA	pelanggan
62	K 0058	200	265
63	K 0897	630	1
64	K0936	100	132
65	K 0759	50	1
66	K 0218	160	212
67	K 0472	100	1
68	K 0782	100	1

Data saluran :

**Tabel 4.2** Data Panjang Saluran Penyulang Kabut

Data Panjang Saluran			
Saluran	L (KM)	Saluran	L (KM)
L1	1.341	L29	0.163
L2	0.059	L30	0.149
L3	0.071	L31	0.239
L4	0.083	L32	0.153
L5	0.056	L33	0.356
L6	0.102	L34	0.351
L7	0.243	L35	0.433
L8	0.157	L36	0.348
L9	0.133	L37	0.3
L10	0.129	L38	0.02
L11	0.086	L39	0.264
L12	0.086	L40	0.012
L13	0.172	L41	0.247
L14	0.083	L42	0.266
L15	0.29	L43	0.133
L16	0.13	L44	0.201
L17	0.21	L45	0.073
L18	0.623	L46	0.089
L19	0.165	L47	0.105
L20	0.25	L48	0.179
L21	0.407	L49	0.164
L22	0.215	L50	0.071
L23	0.354	L51	0.206
L24	0.387	L52	0.206
L25	0.224	L53	0.138
L26	0.145	L54	0.188
L27	0.12	L55	0.176
L28	0.205	L56	0.245

**Tabel 4.2** Data Panjang Saluran Penyulang Kabut (Lanjutan)

Data Panjang Saluran			
Saluran	L (KM)	Saluran	L (KM)
L57	0.322	L68	0.094
L58	0.152	L69	0.096
L59	0.049	L70	0.278
L60	0.106	L71	0.121
L61	0.061	L72	0.095
L62	0.148	L73	0.054
L63	0.182	L74	0.007
L64	0.182	L75	0.062
L65	0.103	L76	0.255
L66	0.075	L77	0.216
L67	0.114	L78	0.129

Berikut merupakan nilai standar laju kegagalan yang digunakan dalam perhitungan FMEA ini, yang mana nilai standar diambil berdasarkan standar yang ada pada PLN (SPLN59 1985) adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.3** Standar Laju Kegagalan (SPLN59 1985)

Komponen	$\lambda$ (Laju Kegagalan)
Pemutus Tenaga/ CB	0.004/unit/tahun
Sakelar Beban	0.003/unit/tahun
Sakelar Pemisah	0.003/unit/tahun
Trafo Distribusi	0.005/unit/tahun
Saluran Udara	0.2/km/tahun

Dengan nilai *switching time* (membuka atau menutup sakelar beban atau sakelar pisah) yaitu sebesar 0.15 jam.

#### 4.2 Perhitungan Indeks Keandalan dengan Metode FMEA pada Ms. Excel

Dari data penyulang yang sudah ada seperti pada sub bab sebelumnya maka dapat dilakukan perhitungan indeks keandalan pada setiap load point, berikut merupakan hasil perhitungan indeks keandalan untuk penyulang kabut :

**Tabel 4.4** Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Kabut

	$\lambda$	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP1	3.3364	1.68315	167	0.058423	0.029473	0.504481	0.999808	0.000192
LP2	3.3364	1.68315	1	0.00035	0.000176	0.504481	0.999808	0.000192
LP3	3.3364	1.68315	1	0.00035	0.000176	0.504481	0.999808	0.000192
LP4	3.3364	6.34366	265	0.092707	0.176268	1.901349	0.999276	0.000724
LP5	3.3364	6.34366	1	0.00035	0.000665	1.901349	0.999276	0.000724
LP6	3.3364	6.34366	833	0.291415	0.554081	1.901349	0.999276	0.000724
LP7	3.3364	6.34366	132	0.046179	0.087802	1.901349	0.999276	0.000724
LP8	3.3364	6.34366	1	0.00035	0.000665	1.901349	0.999276	0.000724
LP9	3.3364	6.34366	132	0.046179	0.087802	1.901349	0.999276	0.000724
LP10	3.3364	6.34366	66	0.023089	0.043901	1.901349	0.999276	0.000724
LP11	3.3364	6.34366	265	0.092707	0.176268	1.901349	0.999276	0.000724
LP12	3.3364	6.34366	1	0.00035	0.000665	1.901349	0.999276	0.000724
LP13	3.3364	6.34366	529	0.185064	0.351871	1.901349	0.999276	0.000724
LP14	3.3364	6.34366	331	0.115796	0.220169	1.901349	0.999276	0.000724
LP15	3.3364	6.34366	265	0.092707	0.176268	1.901349	0.999276	0.000724
LP16	3.3364	6.34366	66	0.023089	0.043901	1.901349	0.999276	0.000724
LP17	3.3364	6.34366	1	0.00035	0.000665	1.901349	0.999276	0.000724
LP18	3.3364	6.34366	1	0.00035	0.000665	1.901349	0.999276	0.000724
LP19	3.3364	6.34366	132	0.046179	0.087802	1.901349	0.999276	0.000724
LP20	3.3364	6.34366	1	0.00035	0.000665	1.901349	0.999276	0.000724
LP21	3.3364	6.34366	265	0.092707	0.176268	1.901349	0.999276	0.000724
LP22	3.3364	6.34366	265	0.092707	0.176268	1.901349	0.999276	0.000724
LP23	3.3364	6.34366	212	0.074166	0.141015	1.901349	0.999276	0.000724
LP24	3.3364	6.34366	265	0.092707	0.176268	1.901349	0.999276	0.000724
LP25	3.3364	6.34366	1	0.00035	0.000665	1.901349	0.999276	0.000724
LP26	3.3364	6.34366	66	0.023089	0.043901	1.901349	0.999276	0.000724
LP27	3.3364	6.34366	132	0.046179	0.087802	1.901349	0.999276	0.000724
LP28	3.3364	6.34366	265	0.092707	0.176268	1.901349	0.999276	0.000724
LP29	3.3364	6.34366	132	0.046179	0.087802	1.901349	0.999276	0.000724
LP30	3.3364	6.34366	66	0.023089	0.043901	1.901349	0.999276	0.000724
LP31	3.3364	6.34366	331	0.115796	0.220169	1.901349	0.999276	0.000724
LP32	3.3364	6.34366	1	0.00035	0.000665	1.901349	0.999276	0.000724
LP33	3.3364	8.31192	529	0.185064	0.461047	2.491284	0.999051	0.000949
LP34	3.3364	8.31192	1	0.00035	0.000872	2.491284	0.999051	0.000949
LP35	3.3364	8.31192	265	0.092707	0.230959	2.491284	0.999051	0.000949
LP36	3.3364	8.31192	331	0.115796	0.288481	2.491284	0.999051	0.000949
LP37	3.3364	8.31192	1	0.00035	0.000872	2.491284	0.999051	0.000949
LP38	3.3364	8.31192	132	0.046179	0.115044	2.491284	0.999051	0.000949
LP39	3.3364	8.31192	265	0.092707	0.230959	2.491284	0.999051	0.000949
LP40	3.3364	8.31192	132	0.046179	0.115044	2.491284	0.999051	0.000949
LP41	3.3364	8.31192	132	0.046179	0.115044	2.491284	0.999051	0.000949
LP42	3.3364	8.31192	1	0.00035	0.000872	2.491284	0.999051	0.000949
LP43	3.3364	8.31192	265	0.092707	0.230959	2.491284	0.999051	0.000949
LP44	3.3364	8.31192	1	0.00035	0.000872	2.491284	0.999051	0.000949
LP45	3.3364	8.31192	1	0.00035	0.000872	2.491284	0.999051	0.000949
LP46	3.3364	11.33821	331	0.115796	0.393514	3.398337	0.998706	0.001294
LP47	3.3364	11.33821	1	0.00035	0.001189	3.398337	0.998706	0.001294
LP48	3.3364	11.33821	265	0.092707	0.315049	3.398337	0.998706	0.001294
LP49	3.3364	11.33821	1	0.00035	0.001189	3.398337	0.998706	0.001294
LP50	3.3364	11.33821	132	0.046179	0.15693	3.398337	0.998706	0.001294
LP51	3.3364	11.33821	529	0.185064	0.62891	3.398337	0.998706	0.001294
LP52	3.3364	11.33821	212	0.074166	0.252039	3.398337	0.998706	0.001294
LP53	3.3364	11.33821	1	0.00035	0.001189	3.398337	0.998706	0.001294
LP54	3.3364	11.33821	1	0.00035	0.001189	3.398337	0.998706	0.001294
LP55	3.3364	11.33821	1	0.00035	0.001189	3.398337	0.998706	0.001294
LP56	3.3364	11.33821	1	0.00035	0.001189	3.398337	0.998706	0.001294

**Tabel 4.4** Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Kabut (Lanjutan)

	$\lambda$	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP57	3.3364	11.33821	1	0.00035	0.001189	3.398337	0.998706	0.001294
LP58	3.3364	11.33821	66	0.023089	0.078465	3.398337	0.998706	0.001294
LP59	3.3364	11.33821	1	0.00035	0.001189	3.398337	0.998706	0.001294
LP60	3.3364	11.33821	132	0.046179	0.15693	3.398337	0.998706	0.001294
LP61	3.3364	11.33821	1	0.00035	0.001189	3.398337	0.998706	0.001294
LP62	3.3364	11.33821	265	0.092707	0.315049	3.398337	0.998706	0.001294
LP63	3.3364	11.33821	1	0.00035	0.001189	3.398337	0.998706	0.001294
LP64	3.3364	11.33821	132	0.046179	0.15693	3.398337	0.998706	0.001294
LP65	3.3364	11.33821	1	0.00035	0.001189	3.398337	0.998706	0.001294
LP66	3.3364	11.33821	212	0.074166	0.252039	3.398337	0.998706	0.001294
LP67	3.3364	11.33821	1	0.00035	0.001189	3.398337	0.998706	0.001294
LP68	3.3364	11.33821	1	0.00035	0.001189	3.398337	0.998706	0.001294
total			9537					
SAIFI				3.3364				
SAIDI					7.884149			
CAIDI						2.363071		
ASAI							0.999064	
ASUI								0.000936

Pada tabel 4.4 menunjukkan hasil indeks kegagalan dari perhitungan melalui Ms. Excel dari penyulang kabut. Hasil perhitungan tersebut diperoleh dengan menggunakan rumus indeks keandalan dengan hasil sebagai berikut :

- SAIFI (System Average Interruption Frequency Index)

Berikut merupakan perhitungan untuk mendapatkan nilai SAIFI pada setiap load point. Sesuai pada tabel 4.4 load point 1/LP1 memiliki nilai laju kegagalan sebesar 3.3394 kegagalan/tahun dan jumlah pelanggan/ konsumen pada LP1 adalah 167 konsumen serta total pelanggan seluruhnya adalah 9537 konsumen :

$$SAIFI_{LP1} = \frac{3.3364 \times 167}{9537} = 0.058423 \text{ kali/pelanggan/tahun}$$

Untuk perhitungan indeks SAIFI pada load point lainnya dapat dengan menggunakan cara yang sama.

- SAIDI (System Average Interruption Duration Index)

Berikut merupakan perhitungan untuk mendapatkan nilai SAIDI pada setiap load point. Sesuai pada tabel 4.4 load point 1/LP1 memiliki nilai durasi perbaikan selama 1.723 jam/tahun dan jumlah pelanggan/ konsumen pada LP1 adalah 167 konsumen serta total pelanggan seluruhnya adalah 9537 konsumen :

$$SAIDI LP1 = \frac{1.68315 \times 167}{9537} = 0.02947 \text{ jam/pelanggan/tahun}$$

Untuk perhitungan indeks SAIDI pada load point lainnya dapat dengan menggunakan cara yang sama.

- CAIDI (Customer Average Interruption Duration Index)  
Berikut merupakan perhitungan untuk mendapatkan nilai CAIDI pada setiap load point. Untuk nilai SAIFI pada LP1 adalah 0.058475 dan SAIDI pada LP1 adalah 0.030171 :

$$CAIDI LP1 = \frac{0.02947}{0.058423} = 0.504481$$

Untuk perhitungan indeks CAIDI pada load point lainnya dapat dengan menggunakan cara yang sama.

- ASAI (Average Service Availability Index)  
Berikut merupakan perhitungan untuk mendapatkan nilai ASAI pada setiap load point. Sesuai pada tabel 4.4 load point 1/LP1 memiliki nilai durasi perbaikan selama 1.723 jam/tahun dan jumlah pelanggan/konsumen pada LP1 adalah 167 konsumen serta 8760 merupakan jumlah total jam dalam satu tahun kalender :

$$ASAI LP1 = \frac{167 \times 8760 - (167 \times 1.68315)}{167 \times 8760} = 0.999808$$

Untuk perhitungan indeks ASAI pada load point lainnya dapat dengan menggunakan cara yang sama.

- ASUI (Average Service Unavailability Index)  
Berikut merupakan perhitungan untuk mendapatkan nilai ASUI pada setiap load point. Untuk ASAI pada LP1 adalah 0.999803 :

$$ASUI LP1 = 1 - 0.999808 = 0.000192$$

Untuk perhitungan indeks ASUI pada load point lainnya dapat dengan menggunakan cara yang sama.

Dari perhitungan dengan metode FMEA diatas didapatkan indeks keandalan penyulang kabut adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.5** Hasil Perhitungan Indeks Keandalan Penyulang Kabut

Indeks	Nilai
<b>SAIFI</b> (gagal/plg.th)	3.3364
<b>SAIDI</b> (jam/plg.th)	7.884149
<b>CAIDI</b> (jam/plg/gagal)	2.363071
<b>ASAI</b> (pu)	0.999064
<b>ASUI</b> (pu)	0.000936

Berikut perbandingan antara perhitungan indeks keandalan SAIDI, SAIFI dan CAIDI dengan menggunakan FMEA dengan nilai indeks keandalan berdasarkan data dari PLN (Area Tanjung Karang) adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.6** Perbandingan FMEA dengan Data PLN Penyulang Kabut

Indeks	FMEA	Data PLN	Selisih
<b>SAIFI</b> (gagal/plg.th)	3.3364	11.6899	8.3535 (71.459%)
<b>SAIDI</b> (jam/plg.th)	7.884149	14.2618	6.377651 (44.72%)
<b>CAIDI</b> (jam/plg/gagal)	2.363071	1.22	1.143071 (48.37%)

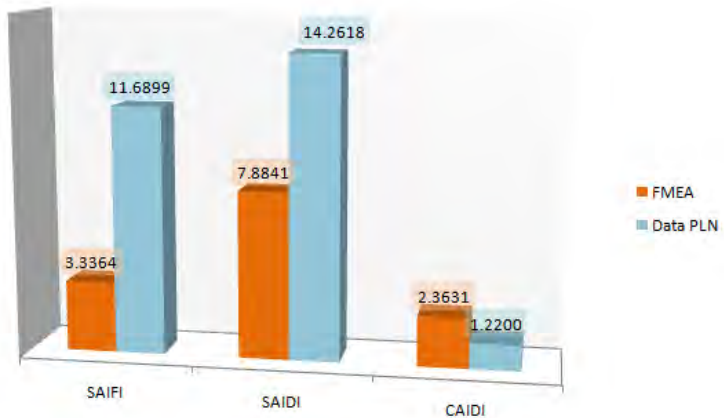
Terdapat perbedaan/ selisih nilai indeks yang sangat signifikan antara perhitungan dengan metode FMEA dan data real PLN. Perbedaan tersebut dapat disebabkan karena :

- Data PLN merupakan data real yang terjadi dilapangan yang dapat dipengaruhi oleh keadaan lingkungan dan cuaca serta cara perhitungan indeks keandalan dari pihak PLN yang merupakan perhitungan *historical*.
- Metode FMEA tidak memperhitungkan faktor alam dan juga pemadaman secara sengaja oleh PLN.
- Untuk saat ini PLN area Tanjung Karang lebih banyak melakukan *corrective maintenance* untuk menanggulangi gangguan yang terjadi dan hanya sedikit *preventive maintenance* seperti pemangkasan pohon untuk mencegah terjadinya gangguan oleh ranting – ranting pohon yang memungkinkan dapat menyentuh jaringan distribusi sehingga menyebabkan pemadaman dan inspeksi jaringan secara visual namun belum dilakukan secara berkala.
- Manuver yang dilakukan PLN berdasarkan dari jumlah beban yang akan dipikul yang mana tergantung dari waktu.



Sehingga didapatkan nilai indeks keandalan yang berbeda jauh dibandingkan dengan perhitungan dengan metode FMEA yang merupakan perhitungan *predictive*.

Berikut merupakan hasil perbandingan indeks keandalan antara perhitungan dengan metode FMEA dan data PLN dalam bentuk grafik seperti pada gambar berikut :



**Gambar 4.1** Perbandingan Perhitungan dengan FMEA dan Data PLN Penyulang Kabut

#### 4.3 Simulasi Keandalan dengan Software ETAP

Simulasi dengan menggunakan software ETAP ini digunakan untuk menganalisa keandalan dari sistem jaringan distribusi pada PT. PLN (persero) Area Tanjung karang dari salah satu penyulangnnya dan juga sebagai pembanding nilai indeks keandalan pada sistem distribusi dengan nilai indeks keandalan yang didapatkan dengan perhitungan menggunakan metode FMEA.

Dengan menggambar ulang Single Line Diagram dan memasukan data – data penunjang jaringan seperti laju kegagalan, repair time, switching time, panjang saluran dan jumlah konsumen sesuai dengan masing – masing komponen maka akan didapatkan hasil indeks keandalannya.

Setelah semua data yang dibutuhkan untuk mengevaluasi telah dimasukan maka selanjutnya project dijalankan dan akan didapatkan hasil indeks keandalan untuk penyulang kabut adalah sebagai berikut :

**Tabel 4.7** Hasil Run Software Etap

<b>Indeks Sistem</b>	
<b>SAIFI</b>	3.3504    gagal/plg.th
<b>SAIDI</b>	7.9017    jam/plg.th
<b>CAIDI</b>	2.358    jam/plg/gagal
<b>ASAI</b>	0.9991
<b>ASUI</b>	0.00090

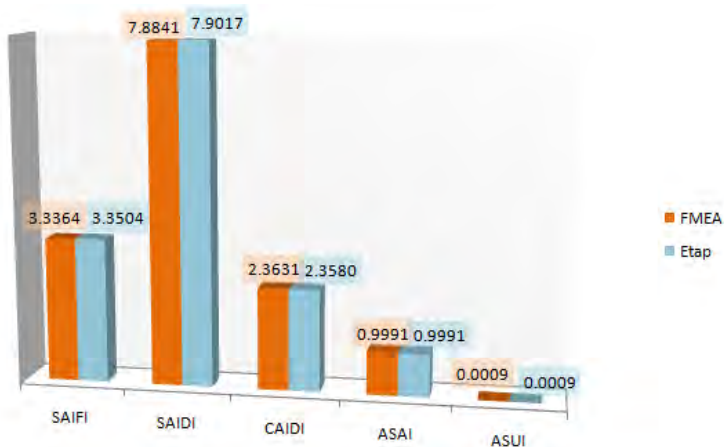
#### 4.4 Evaluasi Hasil Simulasi dengan Menggunakan ETAP dan Ms. Excel

Pada tabel 4.7 merupakan hasil perbandingan indeks keandalan antara perhitungan dengan metode FMEA menggunakan Ms. Excel dan hasil indeks keandalan dari running Etap dari penyulang kabut.

**Tabel 4.8** Perbandingan antara hasil perhitungan Excel dan Etap Penyulang Kabut

<b>Indeks</b>	<b>FMEA</b>	<b>Etap</b>	<b>Selisih</b>
<b>SAIFI</b> (gagal/plg.th)	3.3364	3.3504	0.014 (0.42%)
<b>SAIDI</b> (jam/plg.th)	7.884149	7.9017	0.017551 (0.22%)
<b>CAIDI</b> (jam/plg/gagal)	2.363071	2.358	0.005071 (0.21%)
<b>ASAI</b>	0.999064	0.9991	0.000036 (0.0004%)
<b>ASUI</b>	0.000936	0.00090	0.000036 (3.84%)

Dari tabel 4.6 diatas dapat dilihat adanya selisih nilai yang kecil antara perhitungan dengan metode FMEA menggunakan Ms. Excel dan hasil run pada Etap, apa bila dibandingkan dengan menggunakan grafik seperti pada gambar 4.4 tidak terlihat perbedaan antara grafik Ms. Excel dan Etap yang signifikan.



**Gambar 4.2** Perbandingan hasil perhitungan Excel dan Etap dalam Grafik Penyulang Kabut

Adanya perbedaan hasil perhitungan dengan metode FMEA dan hasil Run Etap dipengaruhi oleh beberapa hal, antara lain :

- Metode Perhitungan  
Pada Studi Keandalan Sistem Distribusi Etap menggunakan algoritma analitikal baru untuk mendapatkan indeks keandalan yang merupakan gabungan antara jaringan radial dan mesh.
- Kondisi Run  
Pada simulasi Etap hanya dapat menghitung satu kondisi saja untuk switch (*Open* atau *Close*), sehingga tidak fleksibel oleh karena itu kondisi switch untuk manuver dari penyulang lain dalam keadaan *close*. Berbeda dengan metode perhitungan FMEA ketika ada manuver jaringan dimana kondisi switch NO(*Normally Open*) akan *close* ketika dibutuhkan manuver. Sehingga akan menimbulkan perbedaan nilai pada hasil seimulasi Etap dan akan memiliki perbedaan semakin tinggi ketika jaringan pada satu penyulang dapat terhbung atau interkoneksi dengan banyak penyulang lain.
- Kondisi Fault pada Jaringan  
Pada Etap, ketika terjadi kegagalan pada jaringan maka breaker yang akan trip adalah breaker terdekat dari gangguan. Namun untuk perhitungan FMEA dalam satu penyulang ketika terjadi gangguan, maka breaker yang akan trip adalah breaker pada sisi

sumber, sehingga tidak mempengaruhi penyulang lain yang terhubung/ terinterkoneksi.

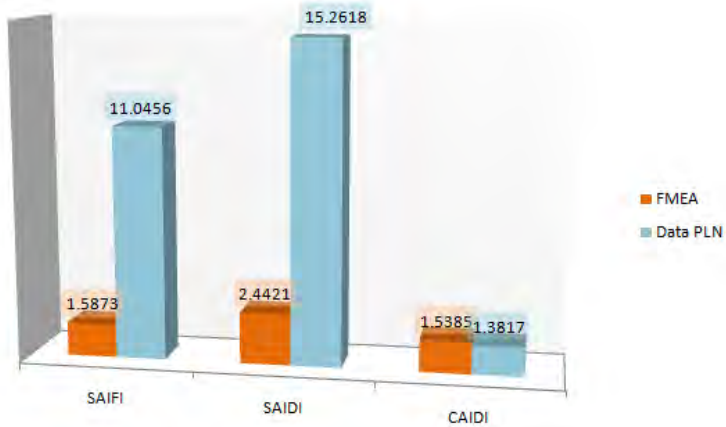
Digunakannya aplikasi Etap sebagai pembanding karena perhitungannya dilakukan oleh sistem sehingga kemungkinan nilai hasil perhitungan benar adalah besar meskipun Etap tidak dapat fleksibel seperti metode FMEA, namun terdapat kasus dimana nilai selisih indeks keandalan antara metode FMEA dan Etap dapat bernilai tinggi seperti pada penyulang lesus dan penyulang pelangi yang mana hal tersebut dikarenakan ketika dalam satu jaringan distribusi terdapat gardu hubung dalam jaringan distribusi tersebut yang berarti terdapat *circuit breaker* pada saluran yang berada dibawah gardu hubung tersebut dan juga terdapat sumber dari penyulang lain untuk manuver jaringan (kondisi switch manuver NC). Dalam keadaan tersebut nilai laju kegagalan setiap *Load Point* yang berada di bawah/ setelah *circuit breaker* merupakan hasil penjumlahan komponen – komponen yang berada di bawah/ setelah *circuit breaker* tersebut saja sehingga ketika di jumlahkan laju kegagalan semua *load point* akan didapatkan nilai yang lebih kecil dari perhitungan FMEA, karena pada FMEA untuk *load point* yang berada di bawah/ setelah *circuit breaker* nilai laju kegagalannya merupakan penjumlahan laju kegagalan dari semua komponen yang ada dalam jaringan distribusi.

#### 4.5 Evaluasi Hasil Simulasi dengan Menggunakan ETAP dan Ms. Excel untuk Semua Penyulang

Berikut hasil indeks keandalan berdasarkan perhitungan dengan metode FMEA menggunakan Ms. Excel dan data PLN serta simulasi dengan menggunakan ETAP untuk penyulang Lesus :

**Tabel 4.9** Perbandingan FMEA dengan Data PLN Penyulang Lesus

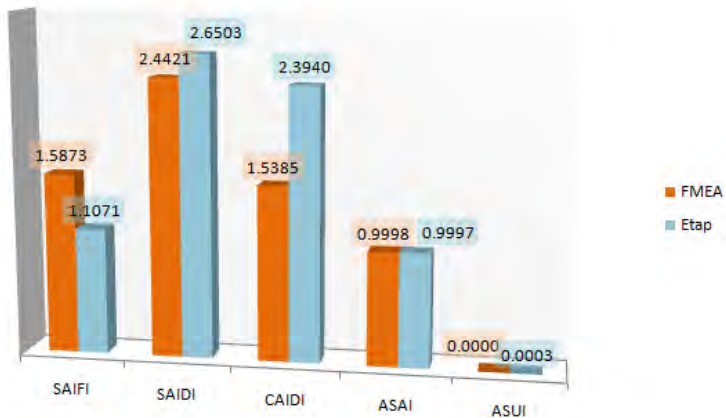
Indeks	FMEA	Data PLN	Selisih
<b>SAIFI</b> (gagal/plg.th)	1.587318	11.0456	9.458281 (85.6%)
<b>SAIDI</b> (jam/plg.th)	2.44206	15.2618	12.81974 (83.99%)
<b>CAIDI</b> (jam/plg/gagal)	1.538482	1.381709	0.15677308 (10.2%)



**Gambar 4.3** Perbandingan Perhitungan dengan FMEA dan Data PLN Penyulang Lesus

**Tabel 4.10** Perbandingan antara hasil perhitungan Excel dan Etap Penyulang Lesus

Indeks	FMEA	Etap	Selisih
SAIFI (gagal/plg.th)	1.587318	1.1071	0.480218 (30.25%)
SAIDI (jam/plg.th)	2.44206	2.6503	0.20824 (7.85 %)
CAIDI (jam/plg/gagal)	1.538482	2.394	0.855518 (35.73%)
ASAI (pu)	0.999808	0.9997	0.000108 (0.01%)
ASUI (pu)	0.000192	0.0003	0.000108 (36%)

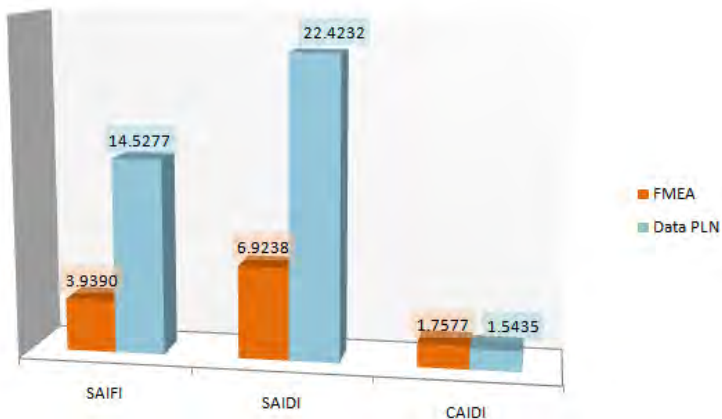


**Gambar 4.4** Perbandingan hasil perhitungan FMEA dan Etap dalam Grafik Penyulang Lesus

Berikut hasil indeks keandalan berdasarkan perhitungan dengan metode FMEA menggunakan Ms. Excel dan data PLN serta simulasi dengan menggunakan ETAP untuk penyulang Awan :

**Tabel 4.11** Perbandingan FMEA dengan Data PLN Penyulang Awan

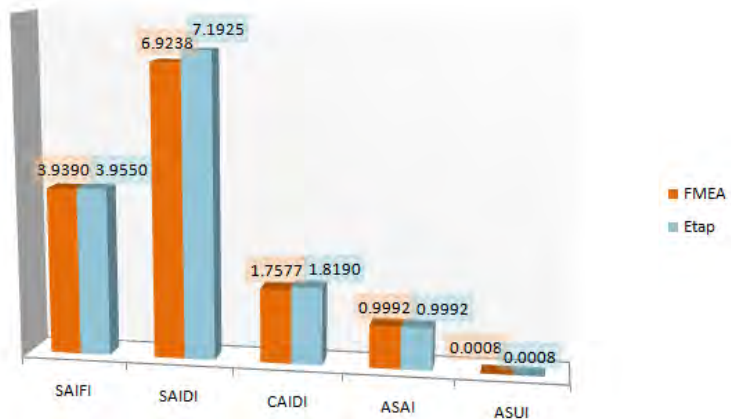
Indeks	FMEA	Data PLN	Selisih
<b>SAIFI</b> (gagal/plg.th)	3.939	14.5277	10.5887 (72.9%)
<b>SAIDI</b> (jam/plg.th)	6.923774	22.4232	15.49942 (69.1%)
<b>CAIDI</b> (jam/plg/gagal)	1.757749	1.5435	0.214249 (12.2%)



**Gambar 4.5** Perbandingan Perhitungan dengan FMEA dan Data PLN Penyulang Awan

**Tabel 4.12** Perbandingan antara hasil perhitungan Excel dan Etap Penyulang Awan

Indeks	FMEA	Etap	Selisih
SAIFI (gagal/plg.th)	3.939	3.955	0.016 (0.406%)
SAIDI (jam/plg.th)	6.923774	7.1925	0.26873 (3.88%)
CAIDI (jam/plg/gagal)	1.757749	1.819	0.06125 (3.48%)
ASAI (pu)	0.999206	0.9992	0.00001 (0.001%)
ASUI (pu)	0.000794	0.00082	0.000026 (3.27%)



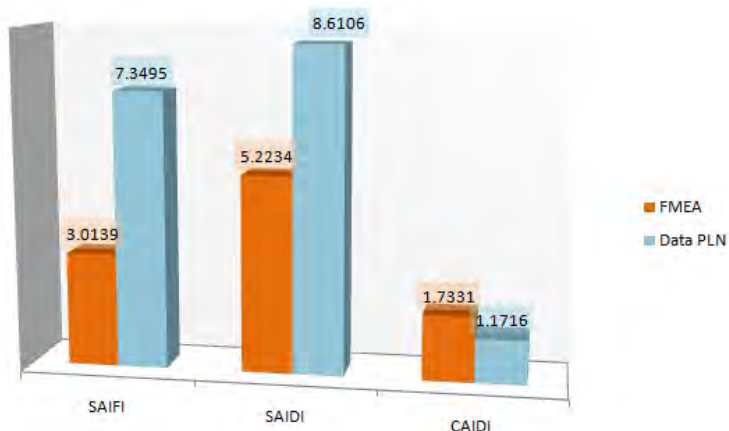
**Gambar 4.6** Perbandingan hasil perhitungan FMEA dan Etap dalam Grafik Penyulang Awan

Berikut hasil indeks keandalan berdasarkan perhitungan dengan metode FMEA menggunakan Ms. Excel dan data PLN serta simulasi dengan menggunakan ETAP untuk penyulang Pelangi :

**Tabel 4.13** Perbandingan FMEA dengan Data PLN Penyulang Pelangi

Indeks	FMEA	Data PLN	Selisih
<b>SAIFI</b> (gagal/plg.th)	3.013878	7.3495	4.335622 (58.9%)
<b>SAIDI</b> (jam/plg.th)	5.223376	8.6106	3.387224 ( 39.3%)
<b>CAIDI</b> (jam/plg/gagal)	1.733108	1.1716	0.561508 (32.4%)

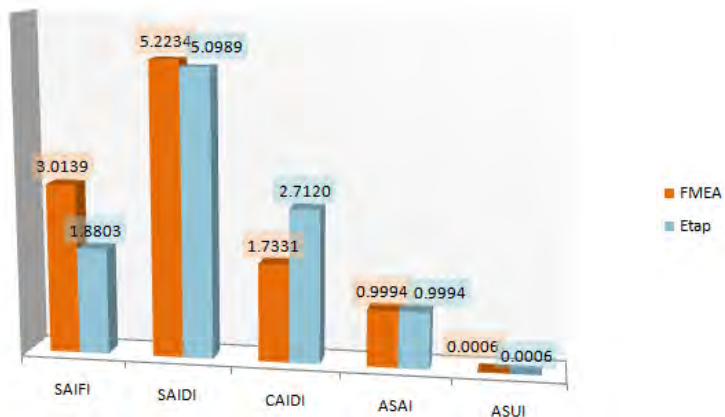




**Gambar 4.7** Perbandingan Perhitungan dengan FMEA dan Data PLN Penyulang Pelangi

**Tabel 4.14** Perbandingan antara hasil perhitungan Excel dan Etap Penyulang Pelangi

Indeks	FMEA	Etap	Selisih
SAIFI (gagal/plg.th)	3.013878	1.8803	1.133578 (37.6%)
SAIDI (jam/plg.th)	5.223376	5.0989	0.124476 (2.38%)
CAIDI (jam/plg/gagal)	1.733108	2.712	0.978892 (36.1%)
ASAI (pu)	0.999401	0.9994	0.000001 (0.0001%)
ASUI (pu)	0.000599	0.00058	0.000019 (3.17%)

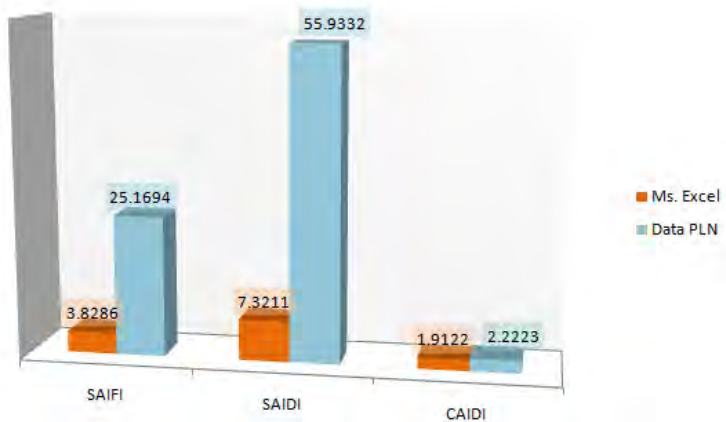


**Gambar 4.8** Perbandingan hasil perhitungan FMEA dan Etap dalam Grafik Penyulang Pelangi

Berikut hasil indeks keandalan berdasarkan perhitungan dengan metode FMEA menggunakan Ms. Excel dan data PLN serta simulasi dengan menggunakan ETAP untuk penyulang Mega :

**Tabel 4.15** Perbandingan FMEA dengan Data PLN Penyulang Mega

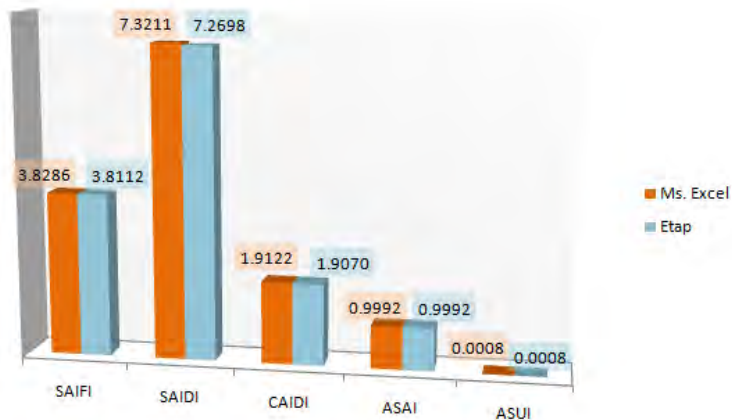
Indeks	Ms. Excel	Data PLN	Selisih
<b>SAIFI</b> (gagal/plg.th)	3.8286	25.1694	21.3408 (84.8%)
<b>SAIDI</b> (jam/plg.th)	7.321058	55.9332	48.61214 (86.9%)
<b>CAIDI</b> (jam/plg/gagal)	1.912202	2.2223	0.310098 (13.9%)



**Gambar 4.9** Perbandingan Perhitungan dengan FMEA dan Data PLN Penyulang Mega

**Tabel 4.16** Perbandingan antara hasil perhitungan Excel dan Etap Penyulang Mega

Indeks	Ms. Excel	Etap	Selisih
SAIFI (gagal/plg.th)	3.8286	3.8112	0.0174 (0.45%)
SAIDI (jam/plg.th)	7.321058	7.2698	0.051258 (0.7%)
CAIDI (jam/plg/gagal)	1.912202	1.907	0.005202 (0/27%)
ASAI	0.999182	0.9992	0.000018(0.0018%)
ASUI	0.000818	0.00083	0.000012 (1.47%)



**Gambar 4.10** Perbandingan hasil perhitungan FMEA dan Etap dalam Grafik Penyulang Mega

**Tabel 4.17** Data Penyulang

Penyulang	Jumlah LP	Jumlah Pelanggan	Saluran (km)
Kabut	68	9534	14.902
Lesus	38	4775	9.247
Awan	57	11343	18.22
Pelangi	68	11834	25.554
Mega	62	10932	17.468

Semakin panjang saluran distribusi maka akan semakin besar juga nilai laju kegagalannya sehingga nilai SAIFI dan SAIDI akan semakin tinggi, sehingga komponen yang dapat memutus beban secara langsung saat terjadi kegagalan seperti CB dan Fuse, maka akan mengkompensasi nilai laju kegagalannya yang akan berpengaruh pada berkurangnya nilai laju kegagalan perload point. Dan semakin banyak sectionalizer maka dapat mengurangi atau menurunkan durasi pemadaman yang mana *load point* lain yang tidak terkena gangguan dapat terisolir sehingga tidak terkena *repair time*.

#### 4.6 Upaya Perbaikan Nilai Indeks Keandalan Sistem Distribusi

Kontinuitas pelayanan merupakan salah satu hal yang sangat penting dalam pendistribusian tenaga listrik ke pelanggan. Terjadinya pemadaman diakibatkan karena beberapa gangguan tidak dapat ditanggulangi oleh peralatan pengaman pada jaringan sehingga sistem distribusi terganggu. Untuk menjaga kepuasan dan kontinuitas pelayanan pelanggan maka salah satu caranya adalah dengan melakukan rekonfigurasi pada jaringan.

Dalam setiap operasi sistem distribusi, terdapat banyak gangguan yang tidak dapat dihindarkan yang mana gangguan tersebut terjadi secara acak yang diakibatkan lingkungan dan kondisi alam seperti pohon, hewan, hujan, petir dan lain – lain. Oleh karena itu diperlukan upaya pencegahan agar tidak terjadi gangguan.

Terdapat dua cara untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi yaitu dengan mengurangi frekuensi gangguan dan mengurangi durasi gangguan. Untuk mengurangi frekuensi pemadaman maka dapat menggunakan *fuse*, dimana *load point* diluar percabangan yang ditambahkan *fuse* tersebut tidak akan mendapatkan *repair time* maka laju kegagalan pada peralatan/ komponen yang berada pada percabangan tidak akan mempengaruhi nilai laju kegagalan pada *load point* di luar percabangan tersebut. Sehingga nilai laju kegagalan pada setiap *load point* akan berkurang oleh karena itu frekuensi kegagalan dapat berkurang. Dan untuk mengurangi durasi pemadaman dapat menambahkan komponen *sectionalizer* yang mana ketika terjadi gangguan pada satu section maka dengan penambahan *sectionalizer* ini dapat *load point* lain dapat hidarkan dari bagian yang mendapatkan *repair time* sehingga *load point* lain diluar area gangguan hanya mendapatkan *switching time*.

##### 4.6.1 Upaya Dalam Mengurangi Jumlah Gangguan

Gangguan yang terjadi dalam penyaluran tenaga listrik ini merupakan hal yang tidak diinginkan dan tidak dapat dihindarkan maka dibutuhkan upaya – upaya untuk mengurangi jumlah gangguan. Berikut beberapa tindakan yang dapat dilakukan untuk mengurangi jumlah gangguan pada sistem distribusi :

- Melakukan dan menjadwalkan maintenance untuk setiap peralatan sesuai dengan buku instruksi untuk pemeliharaan peralatan tersebut sehingga kegagalan peralatan dapat dihindari.

- Melakukan pemeriksaan peralatan pengaman (relay pengaman) secara berkala dan pengecekan secara insidental setelah adanya laporan untuk mencegah kerusakan meluas.
- Melakukan analisis untuk mencari akar masalah pada gangguan yang terjadi secara berulang, agar gangguan tersebut tidak terjadi secara terus menerus.
- Melakukan pengembangan sistem seiring dengan pertumbuhan beban yang akan selalu meningkat sehingga tidak ada peralatan yang bekerja diatas kemampuan akibat beban lebih.
- Dilakukannya pelatihan pada tenaga ahli agar tidak terjadi kesalahan yang berakibat fatal dalam melakukan maintenance.
- Melakukan inspeksi jaringan dan pemangkasan ranting pohon yang berpotensi menyebabkan kegagalan pada saluran udara tegangan menengah.

#### 4.6.2 Rekonfigurasi Jaringan

Rekonfigurasi jaringan merupakan salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan keandalan sistem distribusi dengan cara menambahkan komponen/peralatan pada jaringan distribusi terdapat beberapa komponen yang dapat ditambahkan pada jaringan yang dapat meningkatkan nilai keandalan sistem antara lain adalah *arrester*, *fault indicator*, *tie switch*, *fuse* dan *sectionalizer*. Namun untuk penambahan komponen ini juga perlu diperhatikan dari segi biaya yang mana *fuse* dan *sectionalizer* merupakan komponen yang umumnya digunakan untuk membantu meningkatkan keandalan sistem.

- *Fuse*  
Bagian yang sebaiknya dipasang *fuse* merupakan bagian percabangan dan perlu diperhatikan juga ukuran dari *fuse* agar ketika terjadi leburan pada *fuse* yang berlebihan tidak mempengaruhi kerja *recloser*. *Recloser* / penutup balik otomatis juga komponen yang digunakan dalam jaringan distribusi untuk keperluan pengaman sama seperti *fuse*. Sehingga perlu adanya koordinasi antara kerja *fuse* dan *recloser*.
- *Sectionalizer*  
*Sectionalizer* merupakan komponen yang dipasang pada jaringan distribusi tegangan menengah pada saluran udara tegangan menengah. *Sectionalizer* digunakan untuk mengisolasi seksi yang terganggu sehingga tidak mempengaruhi load point lain.

#### 4.6.3 Upaya Peningkatan Keandalan Penyulang Kabut

Upaya yang dilakukan pada peningkatan keandalan sistem distribusi pada penyulang kabut ini adalah dengan melakukan penambahan komponen *fuse* dan *sectionalizer* pada lokasi tertentu yang memberikan pengaruh besar terhadap keandalan sistem. Pada upaya peningkatan menggunakan satu *sectionalizer* dan tiga *fuse* dengan penempatan sebagai berikut :

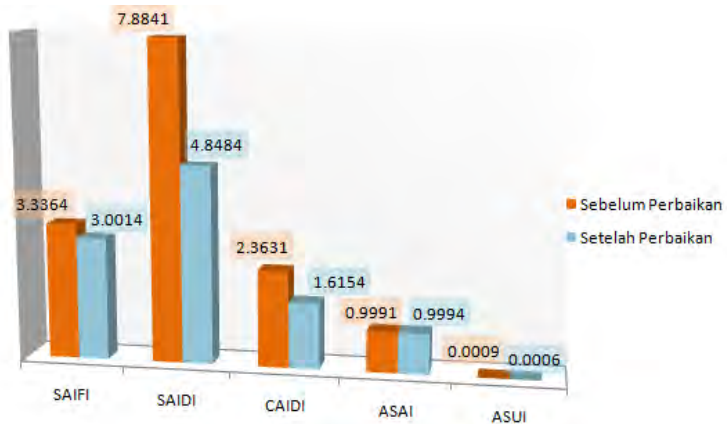
- Pemasangan *sectionalizer* A berada di belakang C\_35 (di antara trafo K850 dan K292), karena ketika terjadi kegagalan pada trafo K30-K217 (T4-T28) dan kabel C\_7- C\_34 maka trafo K292-K782 (T29-T68) tidak termasuk dalam *repair time* karena *beban load point* tersebut dapat disuplai dari penyulang pelangi dengan manuver LBSM K15, yang mulanya ketika terjadi kegagalan pada trafo K30-K217 (LP4-LP28) dan kabel C\_7- C\_34 maka trafo K30-K782 (T4-T68) akan ikut padam dan masuk pada *repair time*.
- Pemasangan *Fuse* A pada bagian depan C\_12 percabangan K207 (T7), karena ketika terjadi kegagalan pada K207-K749 (T7-T8) dan C\_12-C\_14 maka akan langsung terlokalisasi yang awalnya dapat menyebabkan pemadaman pada K30-K782 (T4-T68).
- Pemasangan *Fuse* B pada bagian depan C\_22 percabangan K905 (T16), karena ketika terjadi kegagalan pada K905-K538 (T16-T18) dan C\_22 – C\_24 maka akan langsung terlokalisasi yang awalnya dapat menyebabkan pemadaman pada K30-K782 (T4-T68).
- Pemasangan *Fuse* C pada bagian depan C\_49 percabangan K690 (T41), karena ketika terjadi kegagalan pada K690-K799 (T41-T42) dan C\_49-C\_50 maka akan langsung terlokalisasi yang awalnya dapat menyebabkan terjadinya pemadaman pada K195 – K782 (T33-T68).

Maka setelah dilakukan upaya peningkatan keandalan, maka nilai SAIFI dan SAIDI akan semakin kecil/rendah dengan penambahan *sectionalizer* dan *fuse* sebagai berikut :

**Tabel 4.18** Perbandingan Indeks Keandalan Sebelum dan Setelah Perbaikan.

Indeks	Sebelum Perbaikan	Setelah Perbaikan	Selisih
SAIFI (gagal/plg.th)	3.3364	3.001356	0.335044 (10.04%)
SAIDI (jam/plg.th)	7.884149	4.848395	3.035754 (38.5%)
CAIDI (jam/plg/gagal)	2.363071	1.615402	0.747669 (31.64%)
ASAI	0.999064	0.999439	0.00038 (0.037%)
ASUI	0.000936	0.000561	0.000375 (40.06%)

Nilai indeks keandalan SAIFI turun sebesar 10.04% akibat dari penambahan komponen *fuse* pada jaringan karena nilai laju kegagalan pada setiap *load point* akan berkurang dan indeks keandalan SAIDI turun sebesar 38.5% akibat dari penambahan *sectionalizer* sehingga ada perubahan durasi dari *repair time* menjadi *switching time* pada beberapa *load point* yang dapat dilihat dalam grafik pada gambar 4.14 sebagai berikut :



**Gambar 4.11** Grafik Perbandingan Indeks Sebelum dan Setelah Perbaikan



Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari perhitungan dan analisis indeks keandalan pada tugas akhir ini maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada hasil evaluasi keandalan sistem distribusi pada enam penyulang dari GI Teluk Betung PLN Area Tanjung Karang dengan metode FMEA didapatkan hasil sebagai berikut :
  - Penyulang Kabut  
SAIFI = 3.3364, SAIDI = 7.884149, CAIDI = 2.363071
  - Penyulang Lesus  
SAIFI = 1.587318, SAIDI = 2.44206, CAIDI = 1.538482
  - Penyulang Awan  
SAIFI = 3.939, SAIDI = 6.923774, CAIDI = 1.757749
  - Penyulang Pelangi  
SAIFI = 3.013878, SAIDI = 5.223376, CAIDI = 1.733108
  - Penyulang Mega  
SAIFI = 3.8286, SAIDI = 7.321058, CAIDI = 1.912202
2. Hasil yang didapatkan dari upaya perbaikan pada penyulang kabut adalah sebagai berikut :
  - Penyulang kabut memiliki indeks keandalan SAIFI sebelum adanya perbaikan adalah sebesar 3.3364, lalu setelah dilakukan upaya perbaikan dengan penambahan komponen *fuse* maka didapat nilai indeks SAIFI menjadi 3.001356.
  - Penyulang kabut memiliki indeks keandalan SAIDI sebelum adanya perbaikan adalah sebesar 7.884149, lalu setelah dilakukan upaya perbaikan dengan penambahan komponen *sectionalizer* maka didapat nilai indeks SAIDI menjadi 4.848395.
3. Untuk mendapatkan hasil indeks keandalan yang baik dapat dilakukan dengan penambahan komponen seperti *sectionalizer* dan *fuse* seperti :
  - Saluran pada satu *section* yang panjang dan terdiri dari banyak *load point* dapat dibagi menjadi dua bagian dengan penambahan *sectionalizer* agar ketika terjadi gangguan tidak

- seluruhnya mengalami pemadaman, sebagian load point kemungkinan masih dapat diselamatkan.
- Untuk saluran percabangan yang panjang dapat ditambahkan sectionalizer sehingga akan terbentuk section baru dan jika terjadi gangguan pada section percabangan akan lebih mudah untuk dilokalisasi. Untuk percabangan pendek yang tidak lebih dari tiga load point dapat menggunakan fuse pada percabangan sehingga ketika terjadi gangguan pada percabangan tersebut dapat langsung terlokalisasi.
4. Nilai laju kegagalan pada setiap load point paling tinggi berasal dari panjang saluran bila dibandingkan dengan komponen lainnya, dengan adanya peralatan proteksi yang dapat memutus rangkaian ketika terjadi kegagalan seperti CB dan *fuse* dapat mengkompensasi nilai laju kegagalan yang berarti ketika dilakukan penambahan komponen *fuse* dalam upaya perbaikan indeks keandalan, maka nilai SAIFI akan semakin kecil dan durasi pemadaman dapat diperkecil dengan penambahan komponen *sectionalizer* sehingga dengan adanya penambahan komponen *sectionalizer* dan *fuse* dibutuhkan untuk meningkatkan keandalan sistem jaringan distribusi.

## 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk perbaikan tugas akhir ini adalah :

- Untuk penelitian lebih lanjut dapat mempertimbangkan faktor-faktor lain yang mempengaruhi nilai keandalan seperti *management analysis* dan *maintenance analysis* serta *cost analysis*.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Billinton, Roy, “*Reliability Evaluation of Power System*”, Plenum Press, New York, 1996.
2. Gonen, Turan, “*Electric Power Distribution System Engineering*”, CRC Press, Boca Raton, Second Edition, 2007.
3. Suhardi, Bambang, “*Teknik Distribusi Tenaga Listrik*”, Direktorat Jendral Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengan, Departemen Pendidikan Nasional, Jakarta, 2008.
4. Arismunandar, Artono, “*Teknik Tenaga Listrik*”, PT. Abadi, Jakarta, Jilid Tiga, 2004.
5. Sukmoyo Nugroho, Andhito, “*Studi Keandalan Sistem Distribusi 20kV Di PT. PLN Distribusi APJ Bengkulu Dengan Menggunakan Metode Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)*”, Tugas Akhir ITS, Surabaya, 2012.
6. Tim PLN, “*Kenadalan pada Sistem Distribusi 20kV dan 6kV*” Departemen Pertambangan dan Energi, Jakarta, 1985.

Halaman ini sengaja dikosongkan

## **BIODATA PENULIS**



Penulis bernama lengkap Tosa Anhar Husada dilahirkan di Bogor, 18 Februari 1993. Penulis adalah anak pertama dari empat bersaudara. Penulis memulai pendidikan tahun 1999 di SDN Polisi 4 Bogor (lulus tahun 2005) dan melanjutkan pendidikan di SMP Islam Sudirman Ambarawa (lulus tahun 2008) dan SMAN 1 Ungaran (lulus tahun 2011). Kemudian penulis melanjutkan pendidikan di Diploma 3 Teknik Elektro, Universitas Gadjah Mada. Pada tahun 2014 penulis melanjutkan studi sarjana melalui program lintas jalur di Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Jurusan Teknik Elektro (FTI-ITS) mengambil bidang studi Teknik Sistem Tenaga. Penulis dapat dihubungi di email : tosha.anhar@gmail.com .

Halaman ini sengaja dikosongkan

## LAMPIRAN

**Table 1.1** Hasil Perhitungan FMEA Penyulang Lesus Per-Load Point

	$\lambda$	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP1	1.307	0.98788	167	0.045711	0.03455	0.755838	0.999851	0.000149
LP2	1.307	0.98788	1	0.000274	0.000207	0.755838	0.999851	0.000149
LP3	1.307	0.98788	1	0.000274	0.000207	0.755838	0.999851	0.000149
LP4	1.307	2.27924	167	0.045711	0.079714	1.743871	0.999851	0.000149
LP5	1.307	2.27924	167	0.045711	0.079714	1.743871	0.999851	0.000149
LP6	1.307	2.27924	167	0.045711	0.079714	1.743871	0.999851	0.000149
LP7	1.307	2.27924	325	0.088958	0.155132	1.743871	0.999851	0.000149
LP8	1.307	2.27924	267	0.073083	0.127447	1.743871	0.999851	0.000149
LP9	1.307	2.27924	267	0.073083	0.127447	1.743871	0.999851	0.000149
LP10	1.307	2.27924	267	0.073083	0.127447	1.743871	0.999851	0.000149
LP11	1.307	2.27924	267	0.073083	0.127447	1.743871	0.999851	0.000149
LP12	1.307	2.27924	267	0.073083	0.127447	1.743871	0.999851	0.000149
LP13	1.307	2.27924	1	0.000274	0.000477	1.743871	0.999851	0.000149
LP14	1.307	1.00131	1	0.000274	0.00021	0.766113	0.999851	0.000149
LP15	1.307	1.00131	1	0.000274	0.00021	0.766113	0.999851	0.000149
LP16	1.307	1.00131	265	0.072535	0.05557	0.766113	0.999851	0.000149
LP17	1.307	1.18362	265	0.072535	0.065688	0.905601	0.999851	0.000149
LP18	1.307	1.18362	1	0.000274	0.000248	0.905601	0.999851	0.000149
LP19	1.307	1.18362	132	0.036131	0.03272	0.905601	0.999851	0.000149
LP20	2.0594	3.27585	132	0.05693	0.090558	1.590682	0.999765	0.000235
LP21	2.0594	3.27585	66	0.028465	0.045279	1.590682	0.999765	0.000235
LP22	2.0594	3.27585	212	0.091433	0.145441	1.590682	0.999765	0.000235
LP23	2.0594	3.27585	1	0.000431	0.000686	1.590682	0.999765	0.000235
LP24	2.0594	3.27585	132	0.05693	0.090558	1.590682	0.999765	0.000235
LP25	2.0594	3.27585	212	0.091433	0.145441	1.590682	0.999765	0.000235
LP26	2.0594	3.27585	1	0.000431	0.000686	1.590682	0.999765	0.000235





**Table 1.2**HasilPeerhitungan FMEA PenyulangAwan Per-Load Point

	$\lambda$	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP1	3.939	3.89207	333	0.115557	0.11418	0.988086	0.999556	0.000444
LP2	3.939	3.89207	1	0.000347	0.000343	0.988086	0.999556	0.000444
LP3	3.939	3.89207	1	0.000347	0.000343	0.988086	0.999556	0.000444
LP4	3.939	3.89207	167	0.057952	0.057262	0.988086	0.999556	0.000444
LP5	3.939	3.89207	417	0.144706	0.142982	0.988086	0.999556	0.000444
LP6	3.939	3.89207	267	0.092654	0.09155	0.988086	0.999556	0.000444
LP7	3.939	3.89207	167	0.057952	0.057262	0.988086	0.999556	0.000444
LP8	3.939	3.89207	267	0.092654	0.09155	0.988086	0.999556	0.000444
LP9	3.939	3.89207	1	0.000347	0.000343	0.988086	0.999556	0.000444
LP10	3.939	3.89207	267	0.092654	0.09155	0.988086	0.999556	0.000444
LP11	3.939	3.89207	667	0.231461	0.228703	0.988086	0.999556	0.000444
LP12	3.939	3.89207	83	0.028802	0.028459	0.988086	0.999556	0.000444
LP13	3.939	3.89207	667	0.231461	0.228703	0.988086	0.999556	0.000444
LP14	3.939	3.89207	167	0.057952	0.057262	0.988086	0.999556	0.000444
LP15	3.939	4.58355	333	0.115557	0.134466	1.163633	0.999477	0.000523
LP16	3.939	4.58355	333	0.115557	0.134466	1.163633	0.999477	0.000523
LP17	3.939	4.58355	267	0.092654	0.107815	1.163633	0.999477	0.000523
LP18	3.939	4.58355	83	0.028802	0.033516	1.163633	0.999477	0.000523
LP19	3.939	4.58355	267	0.092654	0.107815	1.163633	0.999477	0.000523
LP20	3.939	4.58355	1	0.000347	0.000404	1.163633	0.999477	0.000523
LP21	3.939	4.58355	267	0.092654	0.107815	1.163633	0.999477	0.000523
LP22	3.939	4.58355	167	0.057952	0.067435	1.163633	0.999477	0.000523
LP23	3.939	4.58355	167	0.057952	0.067435	1.163633	0.999477	0.000523
LP24	3.939	4.58355	267	0.092654	0.107815	1.163633	0.999477	0.000523
LP25	3.939	4.58355	1	0.000347	0.000404	1.163633	0.999477	0.000523
LP26	3.939	4.58355	1	0.000347	0.000404	1.163633	0.999477	0.000523
LP27	3.939	4.58355	167	0.057952	0.067435	1.163633	0.999477	0.000523

**Table 1.2** Hasil Peerhitungan FMEA Penyulang Awan Per-Load Point (Lanjutan)

	$\lambda$	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP28	3.939	4.58355	167	0.057952	0.067435	1.163633	0.999477	0.000523
LP29	3.939	4.58355	167	0.057952	0.067435	1.163633	0.999477	0.000523
LP30	3.939	4.58355	167	0.057952	0.067435	1.163633	0.999477	0.000523
LP31	3.939	4.58355	1	0.000347	0.000404	1.163633	0.999477	0.000523
LP32	3.939	4.58355	167	0.057952	0.067435	1.163633	0.999477	0.000523
LP33	3.939	4.58355	83	0.028802	0.033516	1.163633	0.999477	0.000523
LP34	3.939	10.61033	167	0.057952	0.156103	2.693661	0.998789	0.001211
LP35	3.939	10.61033	167	0.057952	0.156103	2.693661	0.998789	0.001211
LP36	3.939	10.61033	167	0.057952	0.156103	2.693661	0.998789	0.001211
LP37	3.939	10.61033	1	0.000347	0.000935	2.693661	0.998789	0.001211
LP38	3.939	10.61033	267	0.092654	0.249578	2.693661	0.998789	0.001211
LP39	3.939	10.61033	267	0.092654	0.249578	2.693661	0.998789	0.001211
LP40	3.939	10.61033	267	0.092654	0.249578	2.693661	0.998789	0.001211
LP41	3.939	10.61033	83	0.028802	0.077584	2.693661	0.998789	0.001211
LP42	3.939	10.61033	267	0.092654	0.249578	2.693661	0.998789	0.001211
LP43	3.939	10.61033	267	0.092654	0.249578	2.693661	0.998789	0.001211
LP44	3.939	10.61033	667	0.231461	0.623477	2.693661	0.998789	0.001211
LP45	3.939	10.61033	83	0.028802	0.077584	2.693661	0.998789	0.001211
LP46	3.939	10.61033	1	0.000347	0.000935	2.693661	0.998789	0.001211
LP47	3.939	10.61033	83	0.028802	0.077584	2.693661	0.998789	0.001211
LP48	3.939	10.61033	167	0.057952	0.156103	2.693661	0.998789	0.001211
LP49	3.939	10.61033	333	0.115557	0.311271	2.693661	0.998789	0.001211
LP50	3.939	10.61033	1	0.000347	0.000935	2.693661	0.998789	0.001211
LP51	3.939	10.61033	267	0.092654	0.249578	2.693661	0.998789	0.001211
LP52	3.939	10.61033	267	0.092654	0.249578	2.693661	0.998789	0.001211
LP53	3.939	10.61033	167	0.057952	0.156103	2.693661	0.998789	0.001211
LP54	3.939	10.61033	167	0.057952	0.156103	2.693661	0.998789	0.001211

**Table 1.2**HasilPeerhitungan FMEA PenyulangAwan Per-Load Point  
(Lanjutan)

	$\lambda$	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP55	3.939	10.61033	333	0.115557	0.311271	2.693661	0.998789	0.001211
LP56	3.939	10.61033	83	0.028802	0.077584	2.693661	0.998789	0.001211
LP57	3.939	10.61033	267	0.092654	0.249578	2.693661	0.998789	0.001211
total	11351							
	SAIFI				3.939			
		SAIDI				6.923774		
			CAIDI				1.757749	
				ASAI				0.999206
					ASUI			

**Table 1.3**HasilPerhitungan FMEA PenyulangPelangi Per-Load Point

	$\lambda$	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP1	1.6072	3.67134	333	0.044429	0.101491	2.284308	0.999581	0.000419
LP2	1.6072	3.67134	66	0.008806	0.020115	2.284308	0.999581	0.000419
LP3	1.6072	3.67134	212	0.028285	0.064613	2.284308	0.999581	0.000419
LP4	1.6072	3.67134	132	0.017612	0.040231	2.284308	0.999581	0.000419
LP5	1.6072	3.67134	529	0.07058	0.161227	2.284308	0.999581	0.000419
LP6	1.6072	3.67134	265	0.035357	0.080766	2.284308	0.999581	0.000419
LP7	1.6072	3.67134	132	0.017612	0.040231	2.284308	0.999581	0.000419
LP8	1.6072	3.67134	1	0.000133	0.000305	2.284308	0.999581	0.000419
LP9	1.6072	3.67134	1	0.000133	0.000305	2.284308	0.999581	0.000419
LP10	1.6072	3.67134	1	0.000133	0.000305	2.284308	0.999581	0.000419
LP11	1.6072	2.04234	1	0.000133	0.00017	1.270744	0.999767	0.000233
LP12	1.6072	2.04234	132	0.017612	0.02238	1.270744	0.999767	0.000233
LP13	1.6072	2.04234	331	0.044163	0.056119	1.270744	0.999767	0.000233
LP14	1.6072	2.04234	212	0.028285	0.035944	1.270744	0.999767	0.000233
LP15	1.6072	2.04234	529	0.07058	0.089689	1.270744	0.999767	0.000233
LP16	1.6072	2.04234	1	0.000133	0.00017	1.270744	0.999767	0.000233
LP17	3.4838	6.56388	265	0.07664	0.144399	1.884115	0.999251	0.000749
LP18	3.4838	6.56388	212	0.061312	0.115519	1.884115	0.999251	0.000749
LP19	3.4838	6.56388	132	0.038175	0.071927	1.884115	0.999251	0.000749
LP20	3.4838	6.56388	212	0.061312	0.115519	1.884115	0.999251	0.000749
LP21	3.4838	6.56388	212	0.061312	0.115519	1.884115	0.999251	0.000749
LP22	3.4838	6.56388	132	0.038175	0.071927	1.884115	0.999251	0.000749
LP23	3.4838	6.56388	265	0.07664	0.144399	1.884115	0.999251	0.000749
LP24	3.4838	6.56388	132	0.038175	0.071927	1.884115	0.999251	0.000749
LP25	3.4838	6.56388	66	0.019088	0.035963	1.884115	0.999251	0.000749
LP26	3.4838	6.56388	265	0.07664	0.144399	1.884115	0.999251	0.000749
LP27	3.4838	6.56388	212	0.061312	0.115519	1.884115	0.999251	0.000749

**Table 1.3** Hasil Perhitungan FMEA Penyulang Pelangi Per-Load Point (Lanjutan)

	$\lambda$	U	N	SAFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP28	3.4838	6.56388	265	0.07664	0.144399	1.884115	0.999251	0.000749
LP29	3.4838	6.56388	66	0.019088	0.035963	1.884115	0.999251	0.000749
LP30	3.4838	6.56388	132	0.038175	0.071927	1.884115	0.999251	0.000749
LP31	3.4838	6.56388	212	0.061312	0.115519	1.884115	0.999251	0.000749
LP32	3.4838	6.56388	132	0.038175	0.071927	1.884115	0.999251	0.000749
LP33	3.4838	6.56388	212	0.061312	0.115519	1.884115	0.999251	0.000749
LP34	3.4838	6.56388	265	0.07664	0.144399	1.884115	0.999251	0.000749
LP35	3.4838	6.56388	1	0.000289	0.000545	1.884115	0.999251	0.000749
LP36	3.5954	1.9179	1	0.000298	0.000159	0.533432	0.999781	0.000219
LP37	3.5954	1.9179	212	0.063276	0.033754	0.533432	0.999781	0.000219
LP38	3.5954	1.9179	265	0.079095	0.042192	0.533432	0.999781	0.000219
LP39	3.5954	1.9179	212	0.063276	0.033754	0.533432	0.999781	0.000219
LP40	3.4176	6.04252	132	0.03745	0.066214	1.768059	0.99931	0.00069
LP41	3.4176	6.04252	212	0.060147	0.106344	1.768059	0.99931	0.00069
LP42	3.4176	6.04252	132	0.03745	0.066214	1.768059	0.99931	0.00069
LP43	3.4176	6.04252	265	0.075184	0.132929	1.768059	0.99931	0.00069
LP44	3.4176	6.04252	265	0.075184	0.132929	1.768059	0.99931	0.00069
LP45	3.4176	6.04252	265	0.075184	0.132929	1.768059	0.99931	0.00069
LP46	3.4176	6.04252	212	0.060147	0.106344	1.768059	0.99931	0.00069
LP47	3.4176	6.04252	132	0.03745	0.066214	1.768059	0.99931	0.00069
LP48	3.4176	6.04252	265	0.075184	0.132929	1.768059	0.99931	0.00069
LP49	3.4176	6.04252	132	0.03745	0.066214	1.768059	0.99931	0.00069
LP50	3.4176	6.04252	265	0.075184	0.132929	1.768059	0.99931	0.00069
LP51	3.4176	6.04252	529	0.150084	0.265357	1.768059	0.99931	0.00069
LP52	3.4176	6.04252	265	0.075184	0.132929	1.768059	0.99931	0.00069
LP53	3.4176	6.04252	132	0.03745	0.066214	1.768059	0.99931	0.00069
LP54	3.4176	6.04252	66	0.018725	0.033107	1.768059	0.99931	0.00069

**Table 1.3**HasilPerhitungan FMEA PenyulangPelangi Per-Load Point  
(Lanjutan)

	$\lambda$	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP55	3.4176	6.04252	132	0.03745	0.066214	1.768059	0.99931	0.00069
LP56	3.4176	6.04252	265	0.075184	0.132929	1.768059	0.99931	0.00069
LP57	3.4176	6.04252	66	0.018725	0.033107	1.768059	0.99931	0.00069
LP58	3.4176	6.04252	212	0.060147	0.106344	1.768059	0.99931	0.00069
LP59	3.4176	6.04252	265	0.075184	0.132929	1.768059	0.99931	0.00069
LP60	3.4176	6.04252	132	0.03745	0.066214	1.768059	0.99931	0.00069
LP61	3.4176	6.04252	1	0.000284	0.000502	1.768059	0.99931	0.00069
LP62	3.4176	6.04252	1	0.000284	0.000502	1.768059	0.99931	0.00069
LP63	3.4176	6.04252	1	0.000284	0.000502	1.768059	0.99931	0.00069
LP64	3.4176	6.04252	265	0.075184	0.132929	1.768059	0.99931	0.00069
LP65	3.4176	6.04252	1	0.000284	0.000502	1.768059	0.99931	0.00069
LP66	3.4176	6.04252	265	0.075184	0.132929	1.768059	0.99931	0.00069
LP67	3.4176	6.04252	212	0.060147	0.106344	1.768059	0.99931	0.00069
LP68	3.4176	6.04252	1	0.000284	0.000502	1.768059	0.99931	0.00069
total	12046							
	SAIFI	3.013878						
		SAIDI	5.223376					
			CAIDI	1.733108				
				ASAI	0.999401			
					ASUI	0.000599		

**Table 1.4**HasilPerhitungan FMEA Penyulang Mega Per-Load Point

	$\lambda$	U	N	SAFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP1	3.8286	4.84922	267	0.093423	0.118328	1.266578	0.999446	0.000554
LP2	3.8286	4.84922	333	0.116517	0.147577	1.266578	0.999446	0.000554
LP3	3.8286	4.84922	267	0.093423	0.118328	1.266578	0.999446	0.000554
LP4	3.8286	4.84922	1	0.00035	0.000443	1.266578	0.999446	0.000554
LP5	3.8286	4.84922	1	0.00035	0.000443	1.266578	0.999446	0.000554
LP6	3.8286	4.84922	1	0.00035	0.000443	1.266578	0.999446	0.000554
LP7	3.8286	4.84922	1	0.00035	0.000443	1.266578	0.999446	0.000554
LP8	3.8286	4.84922	1	0.00035	0.000443	1.266578	0.999446	0.000554
LP9	3.8286	4.84922	1	0.00035	0.000443	1.266578	0.999446	0.000554
LP10	3.8286	6.12551	1	0.00035	0.00056	1.599935	0.999301	0.000699
LP11	3.8286	6.12551	1	0.00035	0.00056	1.599935	0.999301	0.000699
LP12	3.8286	6.12551	1	0.00035	0.00056	1.599935	0.999301	0.000699
LP13	3.8286	6.12551	333	0.116517	0.186419	1.599935	0.999301	0.000699
LP14	3.8286	6.12551	267	0.093423	0.149471	1.599935	0.999301	0.000699
LP15	3.8286	6.12551	267	0.093423	0.149471	1.599935	0.999301	0.000699
LP16	3.8286	6.96182	1	0.00035	0.000636	1.818372	0.999205	0.000795
LP17	3.8286	6.96182	167	0.058433	0.106253	1.818372	0.999205	0.000795
LP18	3.8286	6.96182	83	0.029042	0.052809	1.818372	0.999205	0.000795
LP19	3.8286	7.18089	167	0.058433	0.109597	1.875592	0.99918	0.00082
LP20	3.8286	7.18089	1	0.00035	0.000656	1.875592	0.99918	0.00082
LP21	3.8286	7.77837	167	0.058433	0.118716	2.031649	0.999112	0.000888
LP22	3.8286	7.77837	1	0.00035	0.000711	2.031649	0.999112	0.000888
LP23	3.8286	7.77837	167	0.058433	0.118716	2.031649	0.999112	0.000888
LP24	3.8286	7.18089	267	0.093423	0.175224	1.875592	0.99918	0.00082
LP25	3.8286	7.35155	167	0.058433	0.112202	1.920167	0.999161	0.000839
LP26	3.8286	7.18089	267	0.093423	0.175224	1.875592	0.99918	0.00082
LP27	3.8286	7.18089	667	0.233383	0.437731	1.875592	0.99918	0.00082



**Table 1.4** Hasil Perhitungan FMEA Penyulang Mega Per-Load Point (Lanjutan)

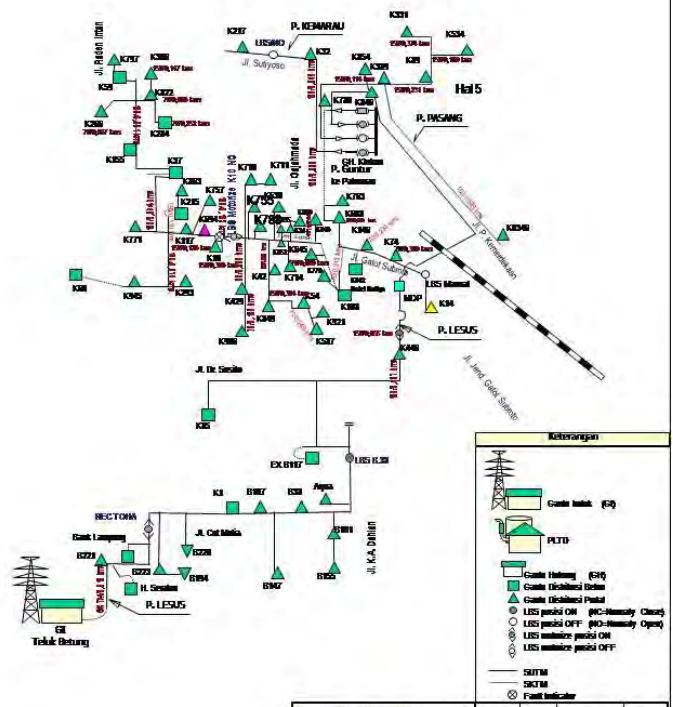
	$\lambda$	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP28	3.8286	7.62709	167	0.058433	0.116407	1.992136	0.999129	0.000871
LP29	3.8286	7.62709	167	0.058433	0.116407	1.992136	0.999129	0.000871
LP30	3.8286	4.84922	267	0.093423	0.118328	1.266578	0.999446	0.000554
LP31	3.8286	4.84922	267	0.093423	0.118328	1.266578	0.999446	0.000554
LP32	3.8286	4.84922	167	0.058433	0.07401	1.266578	0.999446	0.000554
LP33	3.8286	4.84922	267	0.093423	0.118328	1.266578	0.999446	0.000554
LP34	3.8286	4.84922	267	0.093423	0.118328	1.266578	0.999446	0.000554
LP35	3.8286	4.84922	333	0.116517	0.147577	1.266578	0.999446	0.000554
LP36	3.8286	4.84922	83	0.029042	0.036784	1.266578	0.999446	0.000554
LP37	3.8286	4.84922	167	0.058433	0.07401	1.266578	0.999446	0.000554
LP38	3.8286	4.84922	267	0.093423	0.118328	1.266578	0.999446	0.000554
LP39	3.8286	4.84922	167	0.058433	0.07401	1.266578	0.999446	0.000554
LP40	3.8286	4.84922	167	0.058433	0.07401	1.266578	0.999446	0.000554
LP41	3.8286	9.44848	333	0.116517	0.287547	2.467868	0.998921	0.001079
LP42	3.8286	9.44848	167	0.058433	0.144205	2.467868	0.998921	0.001079
LP43	3.8286	9.44848	267	0.093423	0.230556	2.467868	0.998921	0.001079
LP44	3.8286	9.44848	267	0.093423	0.230556	2.467868	0.998921	0.001079
LP45	3.8286	9.44848	267	0.093423	0.230556	2.467868	0.998921	0.001079
LP46	3.8286	9.44848	267	0.093423	0.230556	2.467868	0.998921	0.001079
LP47	3.8286	9.44848	1	0.00035	0.000864	2.467868	0.998921	0.001079
LP48	3.8286	9.44848	267	0.093423	0.230556	2.467868	0.998921	0.001079
LP49	3.8286	9.44848	267	0.093423	0.230556	2.467868	0.998921	0.001079
LP50	3.8286	9.44848	267	0.093423	0.230556	2.467868	0.998921	0.001079
LP51	3.8286	9.44848	167	0.058433	0.144205	2.467868	0.998921	0.001079
LP52	3.8286	9.44848	267	0.093423	0.230556	2.467868	0.998921	0.001079
LP53	3.8286	9.44848	417	0.145908	0.360082	2.467868	0.998921	0.001079
LP54	3.8286	9.44848	83	0.029042	0.071671	2.467868	0.998921	0.001079

**Table 1.4**HasilPerhitungan FMEA Penyulang Mega Per-Load Point  
(Lanjutan)

	$\lambda$	U	N	SAIFI	SAIDI	CAIDI	ASAI	ASUI
LP55	3.8286	9.44848	167	0.058433	0.144205	2.467868	0.998921	0.001079
LP56	3.8286	9.44848	267	0.093423	0.230556	2.467868	0.998921	0.001079
LP57	3.8286	9.44848	1	0.00035	0.000864	2.467868	0.998921	0.001079
LP58	3.8286	9.44848	167	0.058433	0.144205	2.467868	0.998921	0.001079
LP59	3.8286	9.44848	1	0.00035	0.000864	2.467868	0.998921	0.001079
LP60	3.8286	9.44848	83	0.029042	0.071671	2.467868	0.998921	0.001079
LP61	3.8286	9.44848	167	0.058433	0.144205	2.467868	0.998921	0.001079
LP62	3.8286	9.44848	167	0.058433	0.144205	2.467868	0.998921	0.001079
total								
SAIFI				3.8286				
SAIDI				7.321058				
CAIDI						1.912202		
ASAI							0.999182	
ASUI					0.000818			







Single Line Diagram  
Pusat LESUS  
CT300-600/5

PT. PLN (Persero) Dist. Lampung			
Arahan Tegangan Kanan			



